



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE ECONOMICHE ED AZIENDALI
"M.FANNO"**

CORSO DI LAUREA IN ECONOMIA

PROVA FINALE

**"I VEICOLI ELETTRICI INQUINANO MENO?
UN'ANALISI COMPARATIVA BASATA SULLA METODOLOGIA
LCA"**

RELATORE:

CH.MO PROF. Cesare Dosi

LAUREANDO: Francesco Fontana

MATRICOLA N. 1123621

ANNO ACCADEMICO 2017 – 2018

Indice

Introduzione	2
Capitolo 1 - Il veicolo elettrico: tra storia e innovazioni	4
1.1 Cenni storici	4
1.2 Modelli e funzionamento.....	5
1.2.1 Veicoli a trazione elettrica (EV)	6
1.2.2 Veicoli a trazione ibrida (HEV).....	7
1.3 Componentistica e prestazioni.....	8
1.3.1 Batterie.....	8
1.3.2 Ricarica, potenza, consumi e autonomia	9
1.4 Dove sta andando il mercato	11
Capitolo 2 - L'impatto ambientale di un veicolo elettrico	18
2.1 Life cycle assessment.....	18
2.2 Il ciclo di vita di un'automobile ICEV/EV	20
2.2.1 La fase produttiva	21
2.2.2 La fase di utilizzo.....	24
2.2.3 La fase dello smaltimento.....	27
2.3 Sintesi dei risultati	30
Capitolo 3 – Limiti e opportunità dei veicoli elettrici.....	31
3.1 Lo scenario energetico globale	31
3.2 La relazione tra fonti energetiche e il LCA dei veicoli elettrici	38
3.3 Le applicazioni alternative dei veicoli elettrici.....	41
Considerazioni finali.....	43
Riferimenti bibliografici.....	45

Introduzione

Oggigiorno l'auto elettrica è un tema di attualità e allo stesso tempo una grande incognita per il futuro del mercato automobilistico. Le informazioni disponibili sull'argomento sono frammentarie e contraddittorie, il che in parte spiega la riluttanza degli acquirenti al passaggio da un veicolo a combustione interna a un veicolo a trazione elettrica.

Mi sono interessato all'argomento partendo dal presupposto di voler analizzare il fenomeno dal punto di vista dell'impatto ambientale.

Negli ultimi anni, le problematiche legate all'inquinamento hanno spinto alcune case automobilistiche a puntare sull'alternativa dell'elettrico, progettando veicoli di diverse tipologie con l'obiettivo di realizzare una mobilità "priva di emissioni". L'assenza dei tubi di scarico e l'utilizzo di energia elettrica, permettono infatti ai veicoli elettrici notevoli miglioramenti durante la fase di utilizzo, raggiungendo in parte tale obiettivo. Tuttavia, limitandosi ad un'analisi della fase di utilizzo, si rischia di ignorare una serie di fattori importanti nella contabilizzazione dell'impatto ambientale reale di tali veicoli.

Per realizzare un'analisi più dettagliata, ci affideremo alla metodologia di studio LCA (*Life Cycle Assessment*), che permette di associare ad ogni fase del ciclo di vita del veicolo, una quantificazione degli impatti ambientali, consentendo così una comparazione con i veicoli a combustione interna, sia diesel che benzina.

L'elaborato è così strutturato. Nel **primo capitolo** descriveremo le tipologie di auto elettriche attualmente in circolazione, evidenziandone i componenti, il meccanismo di funzionamento, i costi e i consumi legati all'utilizzo. Svolgeremo altresì una breve analisi di mercato, riportando i dati relativi alle vendite negli ultimi anni e alcune previsioni sul futuro dei veicoli elettrici.

Nel **secondo capitolo** analizzeremo dal punto di vista quantitativo e qualitativo vantaggi e svantaggi dei veicoli elettrici. Per farlo ci avvarremo di alcuni studi di LCA, che ci permetteranno di portare alla luce una serie di dati sull'impatto ambientale associato ad ogni singola fase del ciclo di vita dei veicoli e, quindi, una comparazione tra trazione elettrica e motori termici.

Infine, nel **terzo capitolo**, analizzeremo nel dettaglio i limiti dei veicoli elettrici nella riduzione degli impatti ambientali, causati dalle modalità di produzione dell'energia. In particolare, tenteremo di offrire una panoramica sullo scenario energetico globale attuale e sulle tendenze dei prossimi anni, e tratteremo la tematica dell'influenza delle modalità di produzione dell'energia sull'analisi di LCA dei veicoli elettrici. Inoltre, dedicheremo spazio alle opportunità che i veicoli elettrici offrono nella gestione e stabilizzazione della rete elettrica, sia

nella dimensione sociale che in quella privata, grazie allo sviluppo di alcune nuove tecnologie che ampliano le possibilità di utilizzo di tali veicoli, al di fuori dell'industria automobilistica.

Capitolo 1 - Il veicolo elettrico: tra storia e innovazioni

I problemi ambientali legati alle emissioni dei veicoli in circolazione sono temi di discussione frequente negli ultimi anni, tuttavia la comparsa dei primi veicoli elettrici “vanta un’origine antica e di tutto rispetto, essendo stata ideata e sperimentata prima di quella con motore a combustione interna.” (Grilli, 2016).

1.1 Cenni storici

I primi modelli di vettura elettrica risalgono agli anni Trenta dell’Ottocento, quando l’imprenditore scozzese Robert Anderson realizzò il primo rudimentale modello di carrozza elettrica, mentre il professore olandese Sibrandus Stratingh realizzò il primo progetto di auto elettrica, portato a termine successivamente dal suo collaboratore Cristopher Becker nel 1835. Con questi iniziali progetti il veicolo elettrico fa la sua entrata nella storia, ma fu solo la sperimentazione sulle batterie avvenuta nella seconda metà dell’Ottocento a rendere possibile una reale diffusione delle vetture elettriche che, a cavallo tra l’Ottocento e il Novecento, si dimostrarono particolarmente competitive nei confronti dei modelli a vapore o a benzina.

Un caso particolarmente interessante si ha negli Stati Uniti, dove nel 1900 il 34% delle vetture circolanti a New York, Boston e Chicago erano proprio ad alimentazione elettrica e nel 1897 la Grande Mela sperimentò anche un servizio di taxi urbano interamente elettrico con ben 100 mezzi (Grilli, 2016).

Nella seconda metà del Novecento il mercato automobilistico appare tuttavia largamente dominato da veicoli a benzina e diesel. È solo negli anni ’90 che si registra un rinnovato interesse nei confronti dei veicoli elettrici. È in questi anni, infatti, che le “più importanti case automobilistiche mostrarono il loro interesse nei confronti dei veicoli elettrici e studiarono numerose strategie di commercializzazione su larga scala, proponendo numerose *concept car*.” (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP, pag10).

La stessa fonte riporta i progressi realizzati dalle maggiori case automobilistiche, dagli anni Novanta ai giorni nostri, dei quali riportiamo in breve i più rilevanti. Nel 1998 lo Stato della California adottò varie misure per ridurre l’inquinamento atmosferico, tra cui il vincolo che il 2% dei veicoli commercializzati avrebbe dovuto essere *emission free*, per arrivare al 5% nel 2001 e al 10% entro il 2003. Grazie a questo intervento le case automobilistiche furono stimolate a sviluppare nuovi veicoli elettrici, tra i quali ricordiamo la EV1, un’innovativa automobile prodotta da General Motors con un’autonomia di 160 km con una sola ricarica.

Questa vettura, tuttavia, non veniva venduta ma data in noleggio per tre anni a clienti selezionati dal dipartimento marketing della casa automobilistica.

Nel 2001 gli Stati Uniti abbandonano le automobili elettriche. Lo stesso Stato della California nel 2004 abbandona il programma avviato nel 1998, spostando le sue priorità verso la *California Hydrogen Highways Network*, ossia la realizzazione di una “rete autostradale a idrogeno” e la sperimentazione di veicoli a celle combustibili alimentate a idrogeno.

In Europa i primi passi verso il nuovo orizzonte delle vetture elettriche si hanno negli anni '90 quando la FIAT lancia, senza ottenere un gran successo, la Panda Elettra e il gruppo Volkswagen entra in gioco con la Golf CityStromer nel 1989.

In Giappone, dopo 30 anni di ricerche, la Toyota lancia sul mercato la prima automobile ibrida nel 1997, la Toyota Prius, dando inizio a una serie di miglioramenti continui dello stesso modello fino ad arrivare nel 2010 alla realizzazione della Prius Plug-in, dotata di batterie a litio e ricarica dalla normale presa elettrica.

Il nuovo orientamento verso il mercato dei veicoli elettrici ha spinto la BMW a creare un nuovo brand, “BMW i”, che nel 2013 lancia due modelli nel mercato, la i3 – MegaCity Veichle e l'i8, un'auto sportiva con sistema ibrido plug-in. (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP).

Questo nuovo impulso verso il motore elettrico non si è limitato a spingere le più importanti case automobilistiche a sviluppare e ideare nuovi prototipi e modelli. Nell'industria sono apparsi infatti anche nuovi attori, tra i quali spunta Tesla. “Fondata nel 2003, Tesla Motors è una casa automobilistica che produce mezzi elettrici, cioè alimentati esclusivamente ad energia elettrica attraverso batterie...guadagna le prime pagine della stampa di settore e non solo tra la fine del 2008 e l'inizio del 2009 grazie al lancio della Tesla Roadster, la prima auto sportiva ad essere alimentata solamente da energia elettrica.” (ANON.,2014, Il Sole 24 Ore).

1.2 Modelli e funzionamento

Ripercorso brevemente la storia del veicolo elettrico, è opportuno ora descrivere, anche in questo caso sinteticamente, le principali tipologie di veicoli attualmente proposte dal mercato dell'automotive e le principali differenze per quanto riguarda il funzionamento del motore, la componentistica, i materiali e le prestazioni. Come abbiamo visto l'origine dei veicoli elettrici ha radici lontane e dopo anni di ricerca e innovazione le tecnologie presenti sul mercato hanno preso strade diverse: esistono infatti veicoli a trazione elettrica (*Electric Vehicles-EV*) e veicoli a trazione ibrida (*Hybrid Electric Vehicles-HEV*) in grado di utilizzare sia l'elettricità che la combustione di carburante per generare il movimento.

1.2.1 Veicoli a trazione elettrica (EV)

Il veicolo a trazione elettrica “è un veicolo che converte l’energia chimica contenuta nelle batterie in energia elettrica e quindi, tramite un motore elettrico, in energia meccanica, destinata a muovere il mezzo.” (ANON., Orizzontenergia). “L’energia accumulata nelle batterie deriva direttamente dalla rete elettrica, con la quale esse vengono caricate una volta completato il processo di scarica”, (Tegazzini, 2017, pag. 9): è questo il caso dei veicoli classificabili come *Battery Electric Vehicle* (BEV). Un’altra tipologia che rientra sempre nella macro-categoria dei veicoli EV, sono i *Fuel Cell Hydrogen Electric Vehicle* (FCEV), nei quali “il rifornimento di energia elettrica al motore elettrico avviene principalmente grazie ad un dispositivo elettrochimico che converte l’idrogeno contenuto nel serbatoio del veicolo in energia elettrica (più vapore d’acqua e calore) ...[detto]... cella a combustibile” (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP, pag. 17). “L’efficienza, in termini di rendimento, è molto buona se confrontata con veicoli alimentati da motori a combustione interna” (Tegazzini, 2017, pag. 10). Infatti, “in condizioni ottimali i motori a combustione interna hanno un rendimento massimo del 35% circa per le autovetture a benzina e del 40% circa per il diesel...per contro, l’efficienza dei motori elettrici va oltre l’80% e può raggiungere il 90%.” (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP, pag. 9).

Il veicolo elettrico (EV) presenta svariati vantaggi, tra i quali possiamo evidenziare (Tegazzini, 2017):

- zero emissioni allo scarico;
- recupero parziale energia (motore-generatore);
- possibilità di ricarica mediante fonti rinnovabili (impatto zero);
- notevole affidabilità dei componenti elettrici rispetto alla controparte meccanica, manutenzione ridotta;
- possibilità di ricarica autonoma mediante stazioni proprie di ricarica.

Analizzando più nel dettaglio i veicoli precedentemente indicati con la sigla FCEV, la tecnologia sviluppata è più complessa rispetto a quella utilizzata dai veicoli appartenenti alla stessa famiglia (BEV) che si limitano a sfruttare l’energia precedentemente accumulata all’interno delle batterie e quindi dipendenti dall’autonomia (in termini di km) delle stesse. Nel caso delle (FCEV), l’obiettivo è di realizzare una trazione interamente ZEV (*Zero Emission Vehicle*), eliminando le limitazioni dei mezzi a batteria, utilizzando “celle a combustibile, capaci di rifornirsi di idrogeno in pochi minuti e di generare direttamente a bordo, con elevate efficienze, l’elettricità necessaria ai motori elettrici di trazione... attualmente la soluzione più diffusamente indicata dai grandi costruttori e dai principali centri di ricerca prevede l’utilizzo

di idrogeno puro come combustibile (gassoso, liquido, in idruri metallici) e di celle a bassa temperatura con elettrolita polimerico (PEM) per la generazione di bordo.” (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP, pag. 24).

1.2.2 Veicoli a trazione ibrida (HEV)

In questa tipologia di veicolo il motore elettrico consente di utilizzare il motore termico in modo più efficiente e la presenza di accumulatori e di motori/ generatori elettrici consente il recupero dell'energia in frenata e il suo successivo utilizzo in trazione. Inoltre, la trazione ibrida permette di guidare per brevi distanze con il motore termico spento.

Una prima classificazione dei veicoli (HEV) riconducibile all'architettura del sistema divide tali veicoli, in (Riboli e Sala, 2010):

- veicolo ibrido elettrico serie: è un veicolo ibrido in cui la potenza necessaria alla propulsione è fornita esclusivamente da un motore elettrico;
- veicolo ibrido elettrico parallelo: è un veicolo ibrido in cui la potenza necessaria alla propulsione è fornita da un motore elettrico e uno endotermico.

Secondo una classificazione più recente, che fa riferimento al grado di ibridazione della vettura, cioè al rapporto tra potenza del motore elettrico e quella del motore termico, i veicoli HEV possono essere distinti in (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP):

- *Micro hybrid* (Micro HEV);
- *Mild (o medium) hybrid* (Mild HEV);
- *Full hybrid* (Full HEV).

A queste tre categorie se ne possono aggiungere altre due, in base ad una ulteriore specifica funzione, ossia la possibilità di ricaricare le batterie dall'esterno tramite una presa elettrica nella prima e nella seconda da un'architettura che permette di fornire al veicolo un'estensione di autonomia solitamente grazie a un motore termico con la funzione di generatore di corrente a bordo. Esse sono:

- *Plug-in HEV* (PHEV);
- *Extended Range EV* (EREV).

Nelle *Micro HEV* le funzioni svolte dalla componente elettrica sono essenzialmente: l'alimentazione degli accessori elettrici, lo stop end start e la possibilità di recupero di una parte di energia in frenata. Nelle *Mild HEV* si aggiungono le funzioni di distribuzione inattiva e di erogazione di potenza nella trazione. Infine, nelle *Full HEV* il recupero dell'energia in frenata

diviene completo e si aggiunge la possibilità di partenza da fermo e trazione in sola modalità elettrica con funzione ZEV (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP).

1.3 Componentistica e prestazioni

Chiarito che il termine, generico, veicolo “elettrico” include, di fatto, soluzioni tecnologiche molto diverse, possiamo ora passare ad analizzare in modo più approfondito quali sono i componenti chiave delle vetture elettriche che le contraddistinguono dai veicoli con motore a combustione e allo stesso tempo, svolgeremo alcune considerazioni relativamente alle prestazioni dei diversi veicoli.

1.3.1 Batterie

L'elemento chiave che contraddistingue i veicoli HEV e EV rispetto alle auto a combustione interna è certamente la batteria. Questo elemento è fondamentale poiché non solo accumula e fornisce l'energia necessaria, in modi differenti nei vari modelli illustrati precedentemente, ma anche perché sarà un tassello chiave nella nostra analisi di impatto ambientale in ottica di ciclo di vita della vettura elettrica. Un elemento che inoltre da solo è in grado di creare grandi cambiamenti nella *supply chain* dell'automotive impattando significativamente sulla progettazione e la produzione dei veicoli. (Florian, 2013).

Secondo il rapporto già più volte citato preparato da BNP Paribas, un “fattore di rilancio dell'auto elettrica arriva al di fuori del mondo dell'auto. Si tratta della grande diffusione e del successo tecnologico delle batterie al litio...L'enorme mercato creatosi con le applicazioni portatili [smartphone, tablet, lettori mp3] ha fatto confluire sulle attività di ricerca e sviluppo delle batterie al litio enormi capitali, tali da aver fatto accelerare la tecnologia a tal punto da averla spinta a cercare di invadere altri mercati, come quello nascente dell'auto ibrida e quello potenzialmente mai scomparso dell'auto elettrica.” (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP, pag. 22)

Le tipologie di batterie utilizzate nelle vetture HEV e EV sono (Riboli e Sala, 2010):

- Piombo acido;
- Piombo gel;
- Nickel- cadmio;
- Nickel-idruri di metallo;

- Nickel-zinco;
- Litio ioni;
- Litio polimeri;
- ZEBRA (Ni-NaCl).

Le batterie al piombo acido sono le più semplici nel design e le più facili da produrre, sono pesanti e non molto potenti ma hanno il vantaggio di avere un costo contenuto. Le batterie al nichel cadmio hanno due inconvenienti, “l’effetto memoria”, che richiede la scarica completa prima della ricarica, e una rigorosa normativa europea sull’uso del cadmio. Le batterie al nichel-idruri sono attualmente uno standard per le auto ibride e sono state messe in commercio dal 1990, hanno una gran densità di energia e non sono molto sensibili all’effetto memoria. Le batterie che utilizzano il litio nelle sue varie combinazioni sono quelle più utilizzate negli apparecchi elettronici, anch’esse sono dotate di una grande densità di energia e non sono soggette all’effetto memoria rendendole ideali per i veicoli elettrici. Le batterie Nickel-Zinco sono considerate di nuova generazione e sono simili in termini di prestazioni a quelle a Litio ioni. Infine, le batterie con tecnologia ZEBRA (*Zero Emission Battery Research Activities*), attualmente utilizzate da un solo produttore, hanno una temperatura interna di 250° C (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP).

“In definitiva, le tecnologie attualmente utilizzabili e promettenti per i veicoli sono soprattutto le batterie al litio, ed in aggiunta le ZEBRA e le NiMH [nickel- idruri di metallo], quelle al piombo rimangono una tecnologia economica per i veicoli senza prestazioni stringenti.” (Riboli e Sala, 2010).

1.3.2 Ricarica, potenza, consumi e autonomia

Prima di parlare di potenza e autonomia, spostiamo l’attenzione su una questione che si rivela fondamentale per lo sviluppo del mercato dei veicoli elettrici, ossia la ricarica. Passando dai veicoli a combustibile ai veicoli elettrici dobbiamo infatti tenere conto dell’evoluzione nel rifornimento della vettura: passiamo infatti dalla necessità di carburante alla necessità di una ricarica di energia elettrica, un aspetto che crea non poche ripercussioni sulle abitudini delle persone.

“La modalità di ricarica di un’auto elettrica è la stessa di un telefono cellulare, perciò dovremo cominciare a considerare questo tipo di automobili alla stregua di dispositivi o, meglio elettrodomestici.” (Maci, 2018). La ricarica delle auto elettriche può avvenire all’esterno dell’ambiente domestico, attraverso l’utilizzo di colonnine distribuite sul territorio, ma

attualmente tale soluzione risulta ancora insufficiente. In Italia sono attualmente poco più di 4000, circa una ogni 14.388 abitanti e si trovano quasi esclusivamente nelle città più importanti e per la maggior parte sono gestite dall'Enel (Maci, 2018). Un altro modo di ricaricare la vettura è attraverso la presa domestica, con l'avvertenza che una normale presa domestica non è in grado di soddisfare per molte ore consecutive la potenza necessaria per una ricarica di questo genere. È necessario dunque l'utilizzo di una presa CEE industriale. Questa soluzione non è del tutto negativa, contrariamente a quello che si potrebbe pensare. Durante la notte infatti, vi è la possibilità di ricaricare a pieno il veicolo e non solo. Le batterie a litio permettono infatti di effettuare ricariche parziali durante i brevi periodi di sosta nell'arco della giornata non incorrendo nel temibile "effetto memoria" che renderebbe ricariche parziali dannose per lo stato delle batterie (Maci, 2018).

Ora cerchiamo di offrire alcuni elementi per la valutazione dei costi di una ricarica elettrica, per avere quindi un metro di paragone con i veicoli che utilizzano combustibili tradizionali. Una ricarica pubblica in Italia, attraverso le colonnine, attualmente ha mediamente un costo fisso di 25 euro al mese che include un numero illimitato di ricariche e la card di attivazione necessaria per effettuare le ricariche. La soluzione domestica invece necessita del noleggio di un contatore aggiuntivo dal costo medio di 60 euro al mese. In media con un euro si ricarica in un'ora e mezza un veicolo ibrido plug-in in grado di viaggiare per circa 25 km, fino a spendere 5 euro per caricare in 8 ore un'auto completamente elettrica che possa percorrere circa 150 km. Il tempo di ricarica delle batterie varia comunque molto a seconda del tipo di batterie e della modalità di accesso alla rete elettrica. Per una ricarica completa si va dalle 4 alle 8 ore. I fattori che influiscono maggiormente sul tempo di ricarica nel dettaglio sono la potenza (kW) con cui si ricarica e la potenza massima accettata dal caricabatteria interno al veicolo. Tenendo conto di questi ulteriori fattori ad una potenza di 3,7 kW, il tempo necessario per una ricarica completa è di 5/6 ore, mentre ad una potenza di 7,4 kW il tempo richiesto scende alle 2/3 ore (Maci, 2018).

Detto questo, il concetto di autonomia in termini di km per ricarica è uno dei fattori vitali sul quale le industrie automobilistiche che concentrano i propri sforzi di ricerca nel settore dei veicoli elettrici devono maggiormente considerare. "Attualmente gli Electric Vehicle (EV) commerciali possono garantire un'autonomia media fino a 170-200 km a carica. Citroen dichiara che il modello C-Zero può percorrere fino a 150 km senza dover ricaricare, Nissan sostiene che Nissan Leaf permette di guidare per 199 km per carica. La Tesla Model S P85, secondo i costruttori può arrivare a garantire fino a 491 km per carica." (Maci, 2018). È evidente come il tentativo delle varie case automobilistiche sia quello di riuscire a rendere l'autonomia

più lunga possibile, per rendere il veicolo elettrico sempre più competitivo nei confronti di motori a diesel e benzina.

“La potenza di un motore è espressa in kW. Le cifre date come regola esprimono la potenza nominale, per esempio 4kW per i quadricicli leggeri e una serie da 8 a oltre gli 80 kW per i veicoli elettrici” (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP, pag. 51). Per quanto riguarda i consumi, questi dipendono da più fattori: il peso del veicolo, il carico, la natura del viaggio e la velocità media. Le vetture elettriche da città consumano da 8 a 20 KWh oltre i 100 km, questo significa che se le batterie vengono ricaricate durante il giorno il costo sarà circa 0,8-2 euro /100 km, mentre di notte varierà tra 0,5 e 1,15 euro /100 km (ANON., ARVAL BNP PARIBAS GROUP).

1.4 Dove sta andando il mercato

Il mercato dell'elettrico è un mercato relativamente nuovo, in via di sviluppo e ancora avvolto da incertezze. Le tecnologie a disposizione per compiere un decisivo passaggio di consegna dalla “vecchia automobile” alla nuova trazione elettrica sono molte e diverse l'una dall'altra, come descritto nei paragrafi precedenti, ma identificare quale di queste rappresenti la più efficiente e possa diventare lo standard nel futuro è ancora difficile da decretare.

I cambiamenti rapidi e continui sono palpabili nelle dichiarazioni dell'ex CEO di FCA Sergio Marchionne, il quale come riportato nell'articolo di Maci (2018), nel 2017 definiva l'auto elettrica: “una minaccia all'esistenza del pianeta” e in un'intervista a Bloomberg nei mesi successivi invece affermava: “Entro il 2025 la metà delle auto prodotte al mondo sarà elettrificata e i veicoli a gas e benzina cederanno il passo a quelli ibridi ed elettrici. I produttori di auto hanno meno di un decennio per reinventarsi o rischiano di essere travolti dal cambiamento nel modo di alimentare, guidare e acquistare i veicoli”.

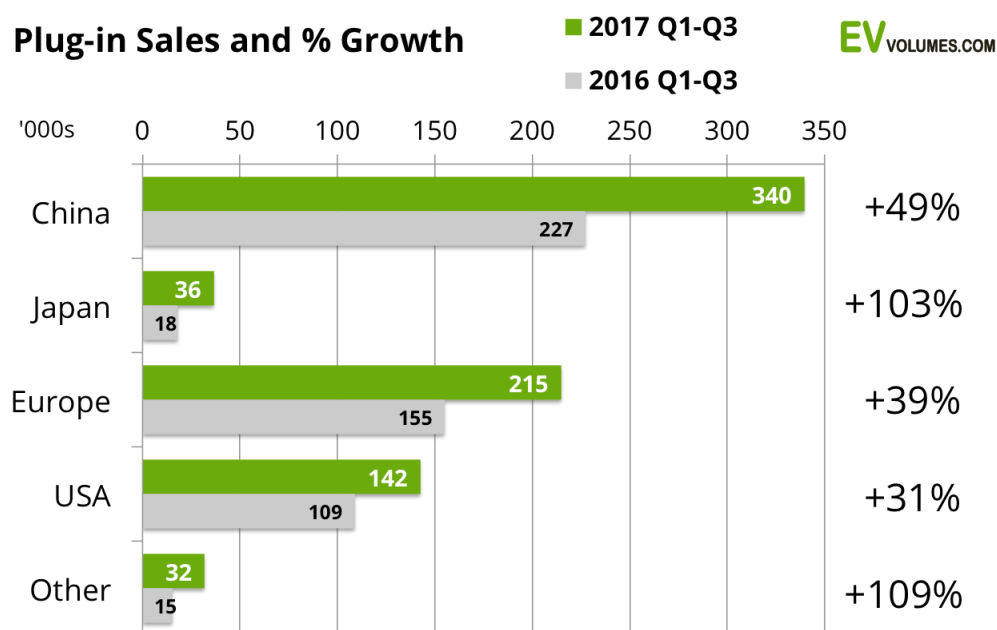
Il cambiamento di rotta repentino avvenuto a distanza di pochi mesi nella visione dell'ex CEO di FCA ci fa capire quanto l'incertezza sia dominante in questo periodo e quanto sia importante per le grandi case automobilistiche “cogliere l'attimo” e accelerare la ricerca e lo sviluppo di quella che potrebbe essere una vera e propria rivoluzione nel settore automobilistico che inevitabilmente porterà vincitori e vinti.

Utilizzando i dati forniti da EV-volumes siamo in grado di offrire qualche dato sulla dimensione del mercato dei veicoli elettrici negli ultimi anni.

Nella **Figura 1** è evidente il trend di crescita delle vendite di auto elettriche e plug-in nel mondo. Al primo posto notiamo la Cina con 340,000 immatricolazioni nel 2017 (+49% rispetto all'anno

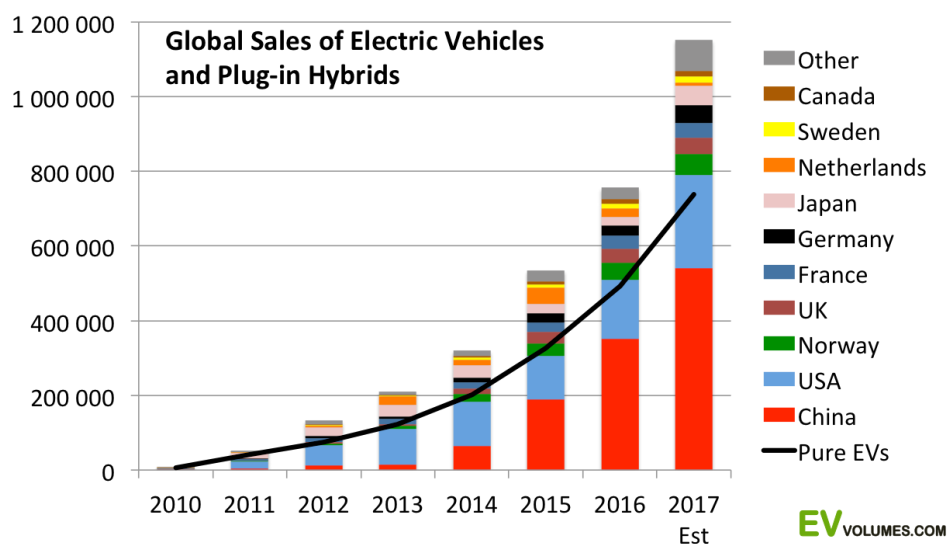
precedente), al secondo l'Europa con una crescita del 39% e 215,000 immatricolazioni e al terzo gli USA con una crescita del 31% e 142,000 veicoli venduti.

Figura 1 - Vendite di auto elettriche nel mondo 2016/2017.



Fonte: Moroni (2017).

Figura 2 - Vendite mondiali di auto elettriche e ibride dal 2010 al 2017.



Fonte: Moroni (2017).

Dalla **Figura 2** si può osservare come la crescita, dopo un inizio lento nel 2010, abbia avuto un andamento più rapido negli ultimi quattro anni, portando le vendite a fine 2017 a oltre il milione. Da notare, oltre l'imponente presenza di Cina e USA, l'interesse dei Paesi del Nord Europa che si dimostrano in proporzione alle proprie dimensioni molto propensi alla diffusione dei veicoli elettrici. In Italia, invece, il segmento elettrico appare ancora marginale, con 1363 unità immatricolate nel 2017 (Moroni, 2017).

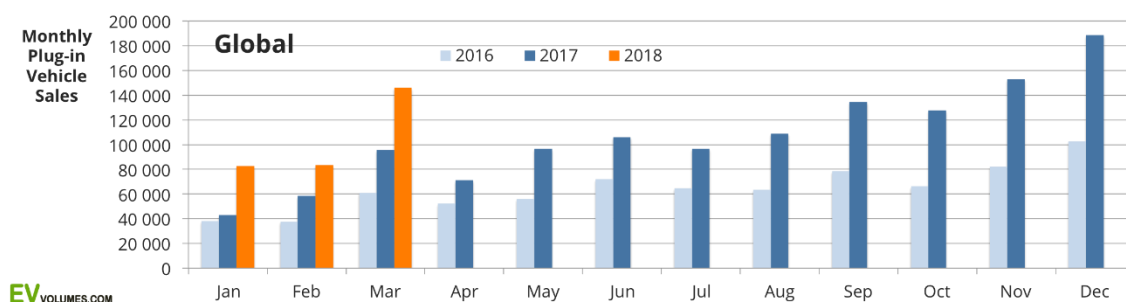
Tabella 1 - Classifica delle auto elettriche più vendute nel 2017, nel mondo.

Global Deliveries			2017	Change	2017	Change	YTD
			Qtr-3	YoY	Q1-Q3	YoY	Share

il mercato dei veicoli elettrici è prevalentemente guidato da veicoli di nicchia. Tuttavia, a seguire entrano nella classifica veicoli appartenenti ai segmenti A B e C, quindi vetture di dimensioni ridotte, utilitarie e medium cars con prezzi decisamente inferiori, a dimostrazione di una tendenza all'espansione che suggerisce un'ulteriore crescita del mercato nei prossimi anni.

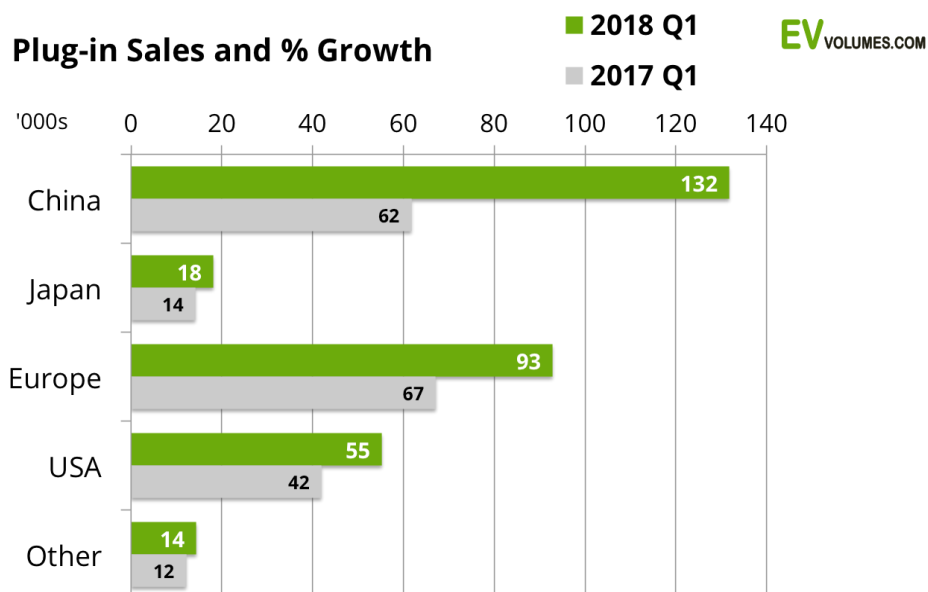
I primi tre mesi del 2018 sono una conferma di quanto abbiamo precedentemente riscontrato.

Figura 3 - Vendite di auto elettriche mensili degli ultimi tre anni a confronto.



Fonte: Moroni (2018).

Figura 4 - Vendite di auto elettriche nel mondo nel primo trimestre del 2017/2018.



Fonte: Moroni (2018).

Sostanzialmente nella **Figura 4**, troviamo ancora la Cina in posizione dominante con 132,000 vetture vendute solamente nel primo trimestre di quest'anno. Come indicato nella **Tabella 2**, la classifica dei modelli più venduti nel primo trimestre del 2018 registra alcune variazioni rispetto alla classifica precedente. La Nissan Leaf passa dalla 7° alla 1° posizione, auto della casa franco-giapponese venduta prevalentemente in Giappone e Europa, e anche modelli europei quali la Renault Zoe EV e la VW e-Golf EV fanno dei passi in avanti per quanto riguarda le vendite e si avvicinano alle posizioni più alte della classifica.

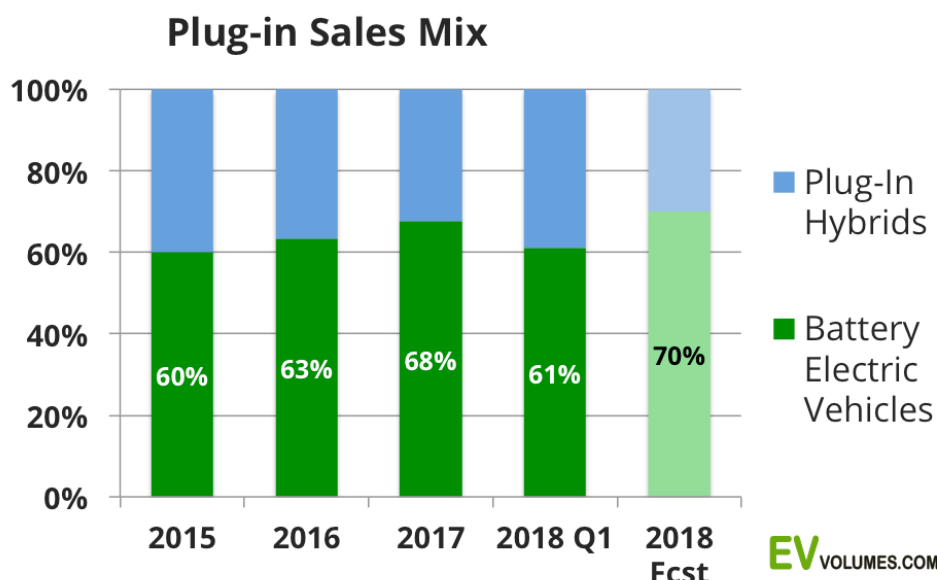
Un dato interessante riguarda la differenza tra modelli *Plug-In Hybrids* e *Battery Electric Vehicles* osservabile nella **Figura 5**. Tra le prime 10 posizioni della classifica solamente quattro sono auto ibride plug-in (evidenziate in azzurro), “e questo conferma il rapporto che c'è sul mercato tra le elettriche pure e le ibride plug-in.” (Moroni, 2018).

Tabella 2 - Classifica delle auto elettriche più vendute nel 2018.

Global Deliveries EV VOLUMES.COM			2018	Change	2017	Change
Segment			Qtr-1	YoY	Q1-Q4	YoY
1.	Nissan Leaf EV	Car-C	22 040	+44%	47 211	-5%
2.	BJEV EC180/200 EV	Car-B	19 808	+178%	78 079	+1791%
3.	Toyota Prius Gen-2 PHEV	Car-C	12 005	+14%	50 833	+1999%
4.	BYD Song PHEV	SUV-C	11 784	-	30 920	-
5.	Tesla Model S	Car-E	11 491	-19%	54 798	+7%
6.	Tesla Model X	SUV-E	10 249	+0%	46 688	+85%
7.	BYD Qin PHEV	Car-D	9 719	+1431%	20 776	-5%
8.	Mitsubishi Outlander PHEV	SUV-D	8 982	+45%	25 530	-8%
9.	Renault Zoe EV	Car-B	8 825	-4%	31 535	+46%
10.	BMW i3 EV / EREV	MPV-B	8 405	+10%	31 431	+23%
11.	Tesla Model 3	Car-D	8 180	-	1 766	-
12.	JAC iEV6e	Car-B	7 800	-	-	-
13.	Chery eQ EV	Car-A	6 476	+478%	27 444	+71%
14.	VW e-Golf EV	Car-C	6 229	+234%	17 065	+60%
15.	Hyundai Ioniq Electric EV	Car-C	5 758	+141%	15 497	+217%
16.	SAIC Roewe eRX5 PHEV	SUV-C	5 707	+77%	19 510	-
17.	Chevrolet Bolt EV	MPV-B	5 160	+51%	26 003	+4368%
18.	SAIC Roewe i6 PHEV	Car-D	5 024	-	8 925	-
19.	JMC E200 EV	Car-A	4 814	+184%	12 347	+162%
20.	Chevrolet Volt EREV	Car-C	4 586	-30%	24 790	-12%
21.	BYD e5 300/450 EV	Car-D	4 401	+119%	23 632	+51%
22.	Zhi Dou D1/D2 EV	Car-A	4 023	-31%	42 342	+108%
23.	BMW 530e PHEV	Car-E	3 782	+2526%	10 065	+71793%
24.	VW Passat GTE PHEV	Car-D	3 668	+9%	13 635	+2%
25.	Volvo XC60 PHEV	SUV-D	3 620	-	4 396	-
Others			109 873	+30%	615 640	+43%
Total			312 409	+58%	1 280 858	+65%

Fonte: Moroni (2018).

Figura 5 - Vendite BEV e Plug-in Hybrids a confronto.



Fonte: Moroni (2018).

Secondo Patti (2017) la tendenza che vede la Cina come dominatrice di questo mercato continuerà anche nei prossimi anni. Come riporta l'autore, il governo cinese ha infatti l'obiettivo di diventare il primo produttore mondiale di auto elettriche e sta spingendo il settore attraverso un sistema di incentivi a consumatori e produttori. Grazie a questo sistema di incentivi, le auto elettriche vengono vendute in Cina a prezzi largamente inferiori rispetto al costo reale dei veicoli e questo ha spinto le vendite in maniera significativa. Dal 2020 gli incentivi diverranno solo non economici, ossia i possessori di veicoli elettrici, per esempio, non saranno soggetti ai limiti per la concessione di nuove targhe imposte in alcune città per motivi ambientali. Nel 2018 entra in vigore un programma di carbon credit che incoraggia i produttori alla produzione di veicoli elettrici e a questo si aggiunge il piano di installazione di colonnine per la ricarica. Il mercato dell'elettrico sembra avere come polo di produzione e sviluppo la Cina, tanto è vero che molte case automobilistiche europee come la Volkswagen hanno cominciato a intraprendere joint-venture e collaborazioni con i gruppi cinesi (Patti, 2017).

È ancora presto per essere certi sulla direzione che prenderà in futuro il mercato dei veicoli elettrici. Per ora possiamo limitarci a osservare quello che sta accadendo e tentare alcune previsioni. Riassumendo, si può dire che il mercato è certamente in crescita e che questa crescita è confermata dall'andamento delle vendite dei primi mesi del 2018, e che la Cina è il paese che in questo momento sta puntando di più su questo mercato con l'obiettivo di diventarne il leader mondiale, anche se non è da escludere una risalita dell'Europa in questa corsa al dominio.

Si nota infine che dopo un inizio caratterizzato dalla commercializzazione di vetture particolarmente costose e di “alta gamma”, stanno entrando nel mercato veicoli più economici, segno di un mercato che si sta espandendo e di un cambiamento che nei prossimi anni potrebbe diventare radicale.

Capitolo 2 - L'impatto ambientale di un veicolo elettrico

Dopo aver fornito alcune informazioni generali sul mondo dei veicoli elettrici, spostiamo l'attenzione sul fulcro della nostra indagine, ossia l'impatto ambientale che questi veicoli hanno durante il loro ciclo di vita, cercando di evidenziare i problemi più significativi durante la fase produttiva, di utilizzo e di smaltimento.

2.1 Life cycle assessment

Per valutare l'impatto ambientale di un veicolo elettrico non possiamo evidentemente limitarci ad un'analisi delle emissioni e dei consumi che avvengono durante la fase di utilizzo, un errore, questo, spesso commesso dai più strenui sostenitori di questa tecnologia.

Come accennato nell'Introduzione, il metodo attualmente più idoneo per compiere un'analisi di questo genere consiste nell'utilizzare un approccio di tipo LCA (*life cycle assessment*), ossia "valutare tutte le fasi [del ciclo di vita] come correlate e interdipendenti, per contabilizzare l'impatto ambientale" (ANON., 2011).

Lo studio di *Life Cycle Assessment* (LCA) è una metodologia utilizzata per generare una valutazione dell'impatto ambientale che ha un qualsiasi prodotto o sistema durante l'arco dell'intero ciclo di vita. Gli studi di LCA generalmente considerano tutti i processi significativamente impattanti sull'ambiente, dall'estrazione delle materie prime, alla produzione dei singoli componenti, all'assemblaggio, al trasporto, all'utilizzo fino ai trattamenti effettuati alla fine della vita come lo smaltimento o l'eventuale riciclo dei materiali. Mettendo insieme queste informazioni è possibile quindi valutare l'impatto di un qualsiasi oggetto nella sua totalità e capire dove si può intervenire per migliorare, cosa va mantenuto e cosa va riprogettato (Messagie, 2014). "È un approccio progettuale che si affida a un range di competenze di natura tecnica, scientifica e ingegneristica, a partire dal progetto, studio e valutazione di materiali, tecnologie, logistica e smaltimento, verso la ricerca di soluzioni improntate alla massima ecocompatibilità...La metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040 in base alle quali uno studio di valutazione del ciclo di vita prevede: la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi (ISO 14041), la compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (ISO 14041), la valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input ed output (ISO 14042) e l'interpretazione dei risultati (ISO 14043)." (ANON., 2011).

Lo studio di LCA legato all'impatto ambientale dei veicoli elettrici è un argomento di crescenti controversie spesso causate da pubblicazioni parziali e report incompleti. Non è raro infatti trovarsi di fronte a studi che riportano risultati molto diversi, il che, come evidenzia Messagie (2014), è dovuto principalmente a: variazioni nei confini dei sistemi, utilizzo di mix energetici diversi (es: energia prodotta attraverso fonti rinnovabili e non), utilizzo di dati ottenuti attraverso NEDC¹ (*New European Driving Cycle*) o tramite monitoraggi delle emissioni provenienti dal tubo di scappamento dei veicoli effettuati nella vita reale.

Altre differenze possono essere imputate alle differenze nell'inventario dei componenti del cosiddetto “*glider*” del veicolo, ossia le parti del veicolo che lo compongono escludendo tutto ciò che crea potenza motrice, o più semplicemente dalle assunzioni sulla durata della vita del veicolo: ad esempio, scegliendo una durata di 150,000 km piuttosto che una di 200,000 km, si incrementa l'influenza relativa alla fase produttiva nei risultati finali dello studio di LCA. Anche la durata della vita delle batterie utilizzate nei veicoli BEV è un fattore importante assieme alla composizione chimica delle stesse (Messagie, 2014).

Per quanto riguarda le variazioni nei confini dei sistemi, si riscontrano due approcci di studio diversi:

- L'approccio “*well-to-wheel*” (WTW, “dal pozzo alla ruota”), che analizza il ciclo di vita dei generatori di energia, ovvero i carburanti per quanto riguarda i veicoli ICEV e l'energia elettrica per quanto riguarda i veicoli EV. In questa tipologia di studio l'obiettivo è di paragonare le diverse tecnologie propulsive e i carburanti. Viene suddiviso in “*well-to-tank*” (WTT, “dal pozzo al serbatoio”) che analizza i costi energetici connessi alla lavorazione della fonte primaria cioè estrazione, lavorazione e trasporto e in “*tank-to-wheel*” (TTW, “dal serbatoio alla ruota”), che analizza quelli connessi alla tecnologia propulsiva utilizzata. Nel complesso il WTW studia il totale di energia impiegato dall'estrazione dei materiali necessari alla creazione del carburante, all'energia utilizzata per muovere il veicolo.
- L'approccio LCA completo, che include nell'analisi dei costi energetici e degli impatti ambientali quelli relativi alla produzione dei componenti che fanno parte del veicolo. In questo caso oltre a considerare i costi produttivi legati alla produzione del carburante si aggiungono i costi produttivi legati ad ogni singolo componente della vettura risultando nel complesso un'analisi più approfondita. (Messagie, 2014).

Stanti queste differenze, la possibilità di giungere a risultati differenti è considerevole. Entrano infatti in gioco diverse discriminanti che possono influenzare significativamente l'output degli

¹NEDC: è un ciclo di guida, definito dalle direttive comunitarie ed è costituito dalla ripetizione di quattro cicli urbani, ECE-15 driving cycle, a una velocità massima di 50 km/h e uno extraurbano, Extra-Urban driving cycle, alla velocità massima di 120 km/h.

studi LCA relativi ai veicoli elettrici. Non è da sottovalutare anche il fatto che molti dati relativi a determinati veicoli non sono di dominio pubblico e non è facile ottenere informazioni dalle case automobilistiche che spesso custodiscono gelosamente informazioni chiave che renderebbero gli studi di LCA più precisi e affidabili.

Tutto ciò premesso, tenteremo di offrire comunque un quadro generale del ciclo di vita di un veicolo elettrico, per poi analizzare in modo più approfondito le varie fasi fornendo dati relativi ad emissioni e consumi che ci serviranno per svolgere poi un confronto con i veicoli non elettrici.

2.2 Il ciclo di vita di un'automobile ICEV/EV

Per affrontare l'analisi che ci siamo prefissati, dobbiamo necessariamente ricorrere ad alcune semplificazioni. Nel primo capitolo sono stati descritti ampiamente i differenti modelli di veicoli elettrici attualmente in circolazione ma compiere un'analisi di LCA per ognuna delle tipologie descritte andrebbe ben oltre i limiti di questo lavoro. Prenderemo quindi in considerazione solamente due categorie di veicoli, gli ICEV (*internal combustion engine vehicle*) e gli EV (*electric vehicle*).

Danielis (2017) divide il ciclo di vita di un'automobile in quattro fasi:

- la fase dal pozzo al serbatoio/batteria, nella quale rientrano l'estrazione dei materiali per la produzione dei carburanti o dell'energia elettrica a seconda che il veicolo sia ICEV o EV;
- la fase della produzione del veicolo, nella quale avvengono l'estrazione dei materiali per l'assemblaggio del veicolo e della batteria;
- la fase dell'utilizzo nella quale avviene il movimento del veicolo e l'estrazione dei materiali che forniscono l'energia necessaria per muovere il veicolo;
- la fase dello smaltimento e del riuso nella quale alla fine del ciclo di vita i materiali inutilizzabili vengono smaltiti e ciò che può essere riutilizzato viene riciclato.

Sostanzialmente il ciclo di vita di un veicolo, che sia elettrico o meno, è divisibile quindi in fase produttiva, fase di utilizzo e fase di smaltimento e riciclo dei materiali. Tuttavia, si annidano notevoli differenze all'interno delle varie fasi che possono derivare da diversi fattori e che, prese nella propria totalità, possono fornirci una rappresentazione approssimativamente realistica dell'attuale comparazione tra veicoli elettrici e non.

2.2.1 La fase produttiva

La fase produttiva è quella in cui vengono prodotti e assemblati i componenti del veicolo. Per comprendere le differenze tra la produzione di un veicolo ICEV e un veicolo EV utilizziamo la **Tabella 3** che identifica i singoli componenti appartenenti all'una o l'altra categoria di veicoli.

Tabella 3– Differenze fra i componenti dei vari tipi di veicoli.²

<i>Category</i>	<i>Component</i>	<i>ICEV</i>	<i>EV, LiFePO₄</i>	<i>EV, LiNCM</i>	<i>Data sources</i>
Glider	Body and doors	X	X	X	a–d
	Brakes	X	X	X	a, e–g
	Chassis	X	X	X	a, h
	Final assembly	X	X	X	h
	Interior and exterior	X	X	X	a, i
	Tires and wheels	X	X	X	a, h–k
ICEV	Engine	X			a, h, b, c
	Fluids	X			a, b, i, j
	Other powertrain	X			a, i, l
	Transmission	X			d, h, m
	PbA batteries	X			a, i, o, p
EV	Motor, control, and inverter		X	X	g, n
	Fluids		X	X	a, b, i, j
	Differential		X	X	g, h
	LiFePO ₄ battery		X		q
	LiNCM battery			X	q

Fonte: Hawkins et al (2012).

² “ICEV = internal combustion engine vehicle; EV = electric vehicle; LiNCM=lithium nickel cobalt manganese; LiFePO₄ =lithium iron phosphate; PbA=lead acid. a = Burnham et al. (2006); b = Sullivan et al. (1998); c = USAMP (1999); d = Daimler AG (2008a); e = Tami (1991); f = Garg et al. (2000); g=Röder (2001); h=Schweimer and Levin (2000); i=IDIS 2 Consortium (2009); j = Nemry et al. (2008); k = NCDNR (2010); l = Lloydetal.(2005);m=VolkswagenAG(2008a,2008b);n=ABB(2010a, 2010b, 2010c, 2010d, 2010e); o = Rantik (1999); p = Delucchi (2003); q=Majeau-Bettez et al. (2011).” (HAWKINS et al, 2012, pag 3).

Nella **Tabella 3** vengono messi a confronto i componenti utilizzati per la produzione di un ICEV e di due EV che utilizzano due tipi di batterie differenti. La componentistica di base delle automobili è la stessa: quindi, anche dal punto di vista progettuale, il veicolo elettrico non comporta molte differenze per quanto riguarda la struttura, ciò che cambia è appunto il motore e il meccanismo che porta alla creazione del movimento e in particolare l'utilizzo di diverse batterie.

Seguendo lo studio di Hawkins et al (2012), per svolgere un'analisi sono state scelti tre veicoli appartenenti alle tre categorie precedentemente evidenziate, il più possibile simili nelle prestazioni, nelle dimensioni e nei consumi.

L'impatto ambientale imputabile ai veicoli elettrici e non, è generalmente rappresentato dai seguenti fattori inquinanti: il riscaldamento globale (*global warming* GWP), l'acidificazione terrestre (*terrestrial acidification* TAP), la formazione di particolato (*particulate matter formation* PMFP), la formazione di ossidazione fotochimica (*photochemical oxidation formation* PQFP), la tossicità per l'uomo (*human toxicity* HTP), la tossicità nell'acqua (*freshwater eco-toxicity* FETP), la tossicità nella terra (*terrestrial eco-toxicity* TETP), l'eutrofizzazione delle acque dolci (*freshwater eutrophication* FEP), l'esaurimento delle risorse minerarie (*mineral resource depletion* MDP) l'esaurimento delle risorse fossili (*fossil resource depletion* FDP).

Per quanto riguarda la sola fase produttiva, l'impatto sul GWP di un EV è molto importante rispetto a quella di un ICEV: è stato stimato infatti che il GWP di un EV durante questa fase varia tra gli 87 e i 95 grammi di diossido di carbonio equivalente per chilometro (g CO₂-eq/km), mentre per gli ICEV è di circa 43 g CO₂-eq/km.

Negli EV la produzione delle batterie influisce dal 35% fino al 41% sul GWP nella fase produttiva.

Per quanto riguarda il TAP e il PFMP durante la fase produttiva un EV e un ICEV sono sostanzialmente simili, differiscono i metalli utilizzati nella produzione che acidificano il terreno.

L'HTP invece è maggiore negli EV sia durante la fase produttiva che durante la fase di utilizzo del veicolo, ed è influenzato principalmente dalla necessità di rame e nickel, metalli che impattano notevolmente sulla salute dell'uomo e lo stesso vale per l'FETP e l'FEP.

Infine, l'MDP è approssimativamente triplo per gli EV rispetto agli ICEV e questo ancora una volta dipende dal fatto che per la produzione di un EV l'utilizzo di risorse minerarie è più intenso rispetto a quello di un ICEV.

In ultima analisi, possiamo riassumere i risultati riguardanti la fase produttiva affermando che per molti aspetti gli EV e gli ICEV si collocano sullo stesso piano, ma in alcuni casi i veicoli

elettrici si rivelano molto peggiori (in termini di risorse materiali impiegate e di emissioni) rispetto agli altri.

Prendendo come riferimento lo studio condotto da Messagie (2014), è possibile approfondire la tematica relativa all'impatto delle batterie. Secondo questo studio, la produzione di batterie al litio gioca un ruolo molto importante nell'impatto ambientale del veicolo: infatti a seconda dei dati utilizzati e della composizione chimica delle batterie (LFP, LTO, LCO, LMO, NCM, NCA)³, questo può variare dai 40 ai 350 kg CO₂/kWh_{battery capacity}, con una media di 110 kg CO₂/kWh_{battery capacity}.

Per aumentare la rilevanza statistica e la qualità degli studi di LCA dei veicoli elettrici è necessario disporre di informazioni puntuali sulla composizione chimica delle batterie utilizzate. La maggior parte degli studi di LCA sulle batterie si focalizza sull'impatto che i vari modelli hanno sul cambiamento climatico, e questo viene misurato in kgCO₂/kWh. In questo caso le batterie più impattanti sono le LFP e le LTO, mentre le meno impattanti sono le LCO e le LMO. Tuttavia, va considerata anche la tossicità delle batterie che deriva principalmente dall'estrazione delle materie prime e dal processo di lavorazione delle stesse durante la fase produttiva. Sotto questo profilo, le LFP si rivelano migliori rispetto alle altre proprio per la loro composizione chimica: l'assenza di nickel e cobalto, infatti, le rende meno tossiche poiché l'estrazione di questi due elementi si rivela più impattante sull'ambiente.

Tabella 4 - *Key parameters influencing the global warming potential of producing various lithium batteries.*⁴

Average	LFP	LFP-LTO	LCO	LMO	NCM	NCA
cycle life (80% DoD) [cycles]	2575	7917	967	1006	1659	2832
efficiency [%]	92,4	93	91	93	93,8	91,6
energy density [kWh/kg]	0,105	0,07	0,172	0,118	0,135	0,103
climate change [kgCO ₂ /kWh]	0,161	0,185	0,056	0,055	0,16	0,116

Fonte: Messagie (2014).

³ lithium iron phosphate (LFP), lithium titanate oxide (LTO), lithium cobalt oxide (LCO), lithium manganese oxide (LMO), nickel cobalt manganese (NCM), nickel cobalt manganese (NCM), nickel cobalt aluminium (NCA).

⁴"Peters, J., Baumann, M., Zimmermann, B., Braun, J., Weil, M. The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 67, p. 491-506, 2017." (Messagie, M., 2014 pag 6).

2.2.2 La fase di utilizzo

Ancora una volta, per continuare la nostra analisi, utilizziamo i dati ricavabili dallo studio di Hawkins et al (2012), che utilizzano i test sulle performance industriali della New European Driving Cycle che seguono la regolamentazione UNECE 101 (UNECE 2005).

I test prevedono quattro cicli di guida in ambiente urbano e una in ambiente extra-urbano, includendo per gli EV i processi di ricarica e le perdite di energia durante la ricarica notturna.

L'energia richiesta durante la fase di utilizzo si assume sia 0,623 megajoule/chilometro (Mj/km) per gli EV, 68.5 millilitro/chilometro (ml/km) per gli ICEV a benzina e 53.5 (ml/km) per gli ICEV a diesel. Questi dati sono stati ricavati utilizzando tre diversi veicoli con caratteristiche simili per quanto riguarda massa e prestazioni. Inoltre, per rendere i test ancora più comparabili, è stato controllato che l'energia fornita alle ruote fosse la stessa considerando la batteria, il motore e altri fattori.

Analizzando l'impatto sul GWP nella fase di utilizzo, va precisato che questa fase del ciclo di vita è quella che impatta di più su questa categoria di emissioni inquinanti sia a causa della combustione del carburante per gli ICEV sia, indirettamente, per quanto riguarda la produzione dell'energia elettrica utilizzata durante questa fase dagli EV.

Quando gli EV utilizzano un mix di elettricità Europeo risulta che l'impatto sul GWP si riduce dal 20% al 24% rispetto agli ICEV a benzina e dal 10% al 14% rispetto agli ICEV diesel, sotto l'assunzione di base che la vita di un veicolo in termini di chilometri sia di 150,000 km.

Quando invece gli EV sono riforniti di energia elettrica derivata da gas naturali, si stima che gli LiNCM EV riducano le emissioni di GHG (*green house gas*) del 12% rispetto agli ICEV a benzina.

Infine, nel caso in cui l'energia elettrica utilizzata dagli EV durante la fase di utilizzo sia stata prodotta attraverso il carbone si ha l'effetto contrario, ossia il GWP aumenta del 17% rispetto agli ICEV a diesel e del 27% rispetto agli ICEV a benzina.

Per quanto riguarda la TAP, più del 70% è causato dalle emissioni di diossido di zolfo (SO₂), che viene prodotto principalmente durante la fase di utilizzo. Per questa ragione anche in questo caso il modo in cui viene prodotta l'energia elettrica utilizzata dagli EV ha notevoli ripercussioni sul confronto con gli ICEV.

Nel caso del POFP o la formazione di smog, gli EV sono migliori degli ICEV: utilizzando infatti un mix di energia Europea e generata attraverso gas naturali vi è una riduzione del POFP dal 22% al 33% rispetto agli ICEV.

Possiamo dire infine che per quanto riguarda il TETP la fase di utilizzo impatta maggiormente a causa delle emissioni di zinco, rame e titanio ma non c'è molta differenza fra EV e ICEV,

invece l'FDP, si riduce dal 25% al 36% con gli EV che utilizzano un mix di elettricità europea, mentre utilizzando forme di elettricità prodotte attraverso gas e carbone non ci sono molti benefici.

In sintesi, ciò che emerge dall'analisi della fase di utilizzo è che la differenza in termini di danni per l'ambiente e per l'uomo è influenzata principalmente dalla provenienza e dal metodo di produzione di energia elettrica utilizzata dagli EV. Ecco quindi come non basta l'eliminazione dei fumi emessi dai tubi di scarico per avere dei benefici sull'ambiente: sono necessarie invece innovazioni che partano dalle radici, ossia dalla produzione di energia elettrica. Tuttavia, rimandiamo l'approfondimento di questa tematica al **capitolo 3**.

Utilizzando un altro studio svolto da Messagie (2014), è possibile approfondire la comparazione delle prestazioni tra veicoli BEV, HEV, PHEV e ICEV durante la fase di utilizzo. La metodologia utilizzata in questo caso è la WTW (*Well-to-Wheel*), e si limita ad esaminare le diverse emissioni di gas serra prodotte in differenti condizioni di traffico. In questo caso le prestazioni dei veicoli vengono confrontate in città, in periferia e in autostrada.

La guida in città è caratterizzata da un contesto di guida lento, con molte soste e ripartenze e in condizioni di traffico congestionato. L'ambiente periferico permette velocità più elevate e meno interruzioni causate dal traffico. Infine, l'autostrada permette di raggiungere le velocità più elevate e essenzialmente senza interruzioni permettendo di mantenere una velocità relativamente costante.

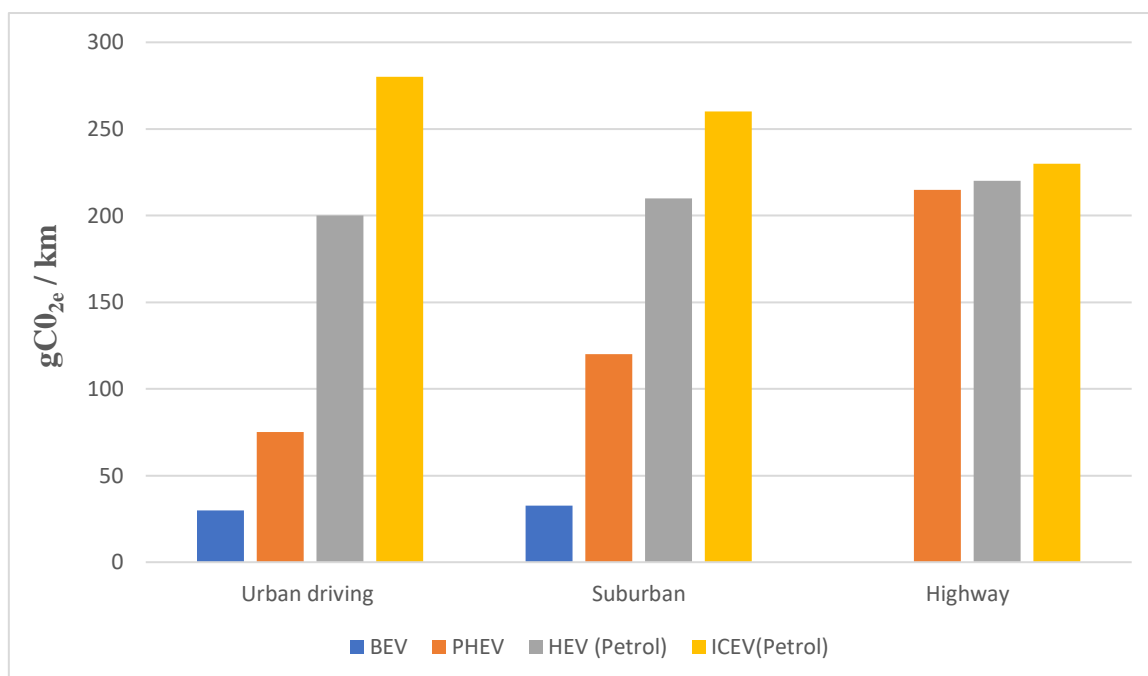
I risultati che emergono da questo studio sono che i veicoli elettrici nell'ambiente cittadino soggetto a velocità tendenzialmente moderata e frequenti interruzioni causate dal traffico, si dimostrano nettamente migliori rispetto ai veicoli ICEV. Inoltre, nel caso dei veicoli BEV, la possibilità di recuperare e immagazzinare l'energia in frenata accresce i benefici di questo modello nel contesto urbano.

Nella **Figura 6** viene offerta una rappresentazione grafica dei risultati appena descritti, dalla quale emerge in maniera più evidente il divario tra le emissioni di gas serra dei veicoli elettrici e di quelli a combustione in ambiente urbano.

Nello stesso studio viene mossa una critica nei confronti dei test che seguono il protocollo NEDC già citato precedentemente. Secondo l'analisi condotta da Messagie (2014), i consumi di carburante e le emissioni di CO₂ ottenuti tramite questo tipo di test si differenziano del 30%-40% rispetto a quelli misurabili nelle condizioni reali. Molti fattori possono ovviamente influenzare tali risultati quali le caratteristiche del veicolo, le condizioni del traffico, le condizioni climatiche, l'altitudine e le condizioni dell'asfalto e, soprattutto, l'utilizzo di mix energetici differenti influenza significativamente i risultati riguardanti gli EV.

Tuttavia, lo studio di Hawkins et al (2012), pur utilizzando il test NEDC, considera l'influenza dell'utilizzo di diversi mix energetici, per il rifornimento dei veicoli elettrici, sui risultati finali dello studio di LCA. Inoltre, utilizza veicoli con dimensioni e prestazioni simili in modo da livellare il più possibile il divario tra risultati di "laboratorio" e la vita reale, rendendo tali risultati più attendibili.

Figura 6 – Impatto ambientale di alcuni tipi di veicoli in differenti contesti di guida.



Ns. elaborazione su dati Messagie (2014).⁵ (*Data for BEV are obtained from*).⁶

⁵Raykin, L., Maclean, H. L., Roorda, M. J. Implications of driving patterns on well-to-wheel performance of plug-in hybrid electric vehicles, vol 46, no. 11, 2012.” (Messagie, M., 2014 pag 4).

⁶“Faria, R., Pedro, M., Moura, P., Freire, F., Delgado, J., Almeida, A. T. Impact of electricity mix and use profile in the life cycle assessment of electric vehicle. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 24, pp 271-287, 2013.” (Messagie, M., 2104 pag 4).

2.2.3 La fase dello smaltimento

Determinare con precisione la vita di un veicolo, sia esso elettrico o tradizionale è alquanto difficile, così come è difficile analizzare lo smaltimento di ogni singolo componente e il suo impatto ambientale. Avvalendoci ancora una volta dello studio di Hawkins et al (2012), si assume come durata di un veicolo e delle batterie 150,000 km, che si ritiene in linea con quello che afferma l'industria dell'automotive, sebbene la durata possa variare in un intervallo dai 150,000 km ai 300,000 km. Tuttavia, ciò che è davvero importante, oltre alla durata del veicolo sono le modalità di smaltimento dei suoi componenti, in particolare delle batterie. Quello che emerge dallo studio di Hawkins et al (2012) è che molti fattori possono influenzare i risultati. Ecco perché viene svolta un'analisi di sensibilità.

Secondo lo studio di Tagliaferri et al (2016), nella fase di smaltimento e riciclo di ICEV e EV, i materiali presi maggiormente in considerazione sono i metalli: nickel, manganese, alluminio, rame e acciaio.

Gli autori considerano due diversi scenari per la fase dello smaltimento dei veicoli ICEV e EV: nel primo i materiali che compongono i diversi veicoli vengono interamente riciclati al termine del ciclo di vita, nel secondo, solo il 57% dei componenti viene riutilizzato.

Nel caso degli ICEV, lo studio riporta che durante la fase di smaltimento, alluminio, rame e acciaio vengono riciclati al 100% mentre generalmente il resto dei materiali viene inviato ad un impianto di incenerimento.

Per i BEV il processo di smaltimento è più complesso, non tanto per la parte di componenti appartenente al *glider*, già definito in precedenza, ma soprattutto per i materiali che compongono le batterie. In questo caso le batterie subiscono un processo di smantellamento e riciclo molto complesso, articolato sostanzialmente in due fasi:

- trattamento piro-metallurgico;
- trattamento idro-metallurgico.

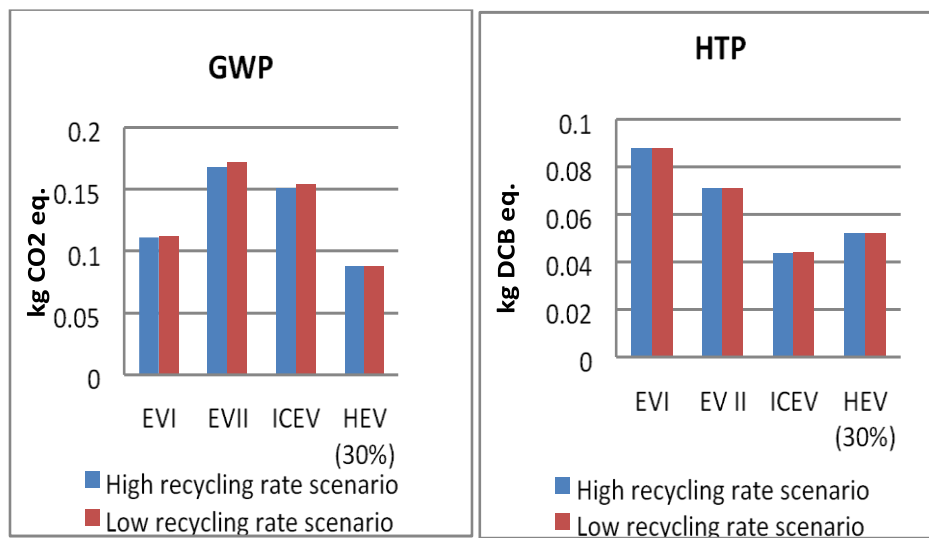
Nella prima fase vengono recuperati principalmente nickel e cobalto. La seconda fase consiste invece nell'estrarre dalle scorie, prodotte durante la prima fase, altri metalli come: cobalto, rame, nickel e ferro.

Dal processo di smantellamento e recupero di 1 kg di batterie (Li-Ion), emergono i seguenti tassi di riciclo (Tagliaferri et al, 2016):

- 7.7% Cobalto (1° fase)
- 13.6% Cobalto (2° fase)
- 9.6% Rame (1° fase)
- 10.8% Acciaio (1° fase)

- 6.6% Acciaio (2° fase)
- 6% Nickel (2° fase).

Figura 7 – Impatto dei diversi scenari di riciclo su GWP e HTP.



Fonte: Tagliaferri et al (2016).

I due scenari di riciclo dei materiali non evidenziano significative differenze nell'impatto causato su GWP e HTP.

La **figura 7** offre una rappresentazione grafica di quanto appena descritto e permette inoltre di osservare come la fase di smaltimento sia più impattante per gli EV, per quanto riguarda HTP. Tuttavia, la fase dello smaltimento si dimostra meno influente sull'impatto ambientale totale dei veicoli (Tagliaferri et al, 2016).

Sostanzialmente alle stesse conclusioni giungono anche Hawkins et al (2012). In **Figura 8** si può infatti osservare una rappresentazione che permette di visualizzare con più chiarezza la proporzione di impatto ambientale, suddiviso nei diversi fattori inquinanti, assoggettabile ad ogni singola fase del ciclo di vita dei veicoli.

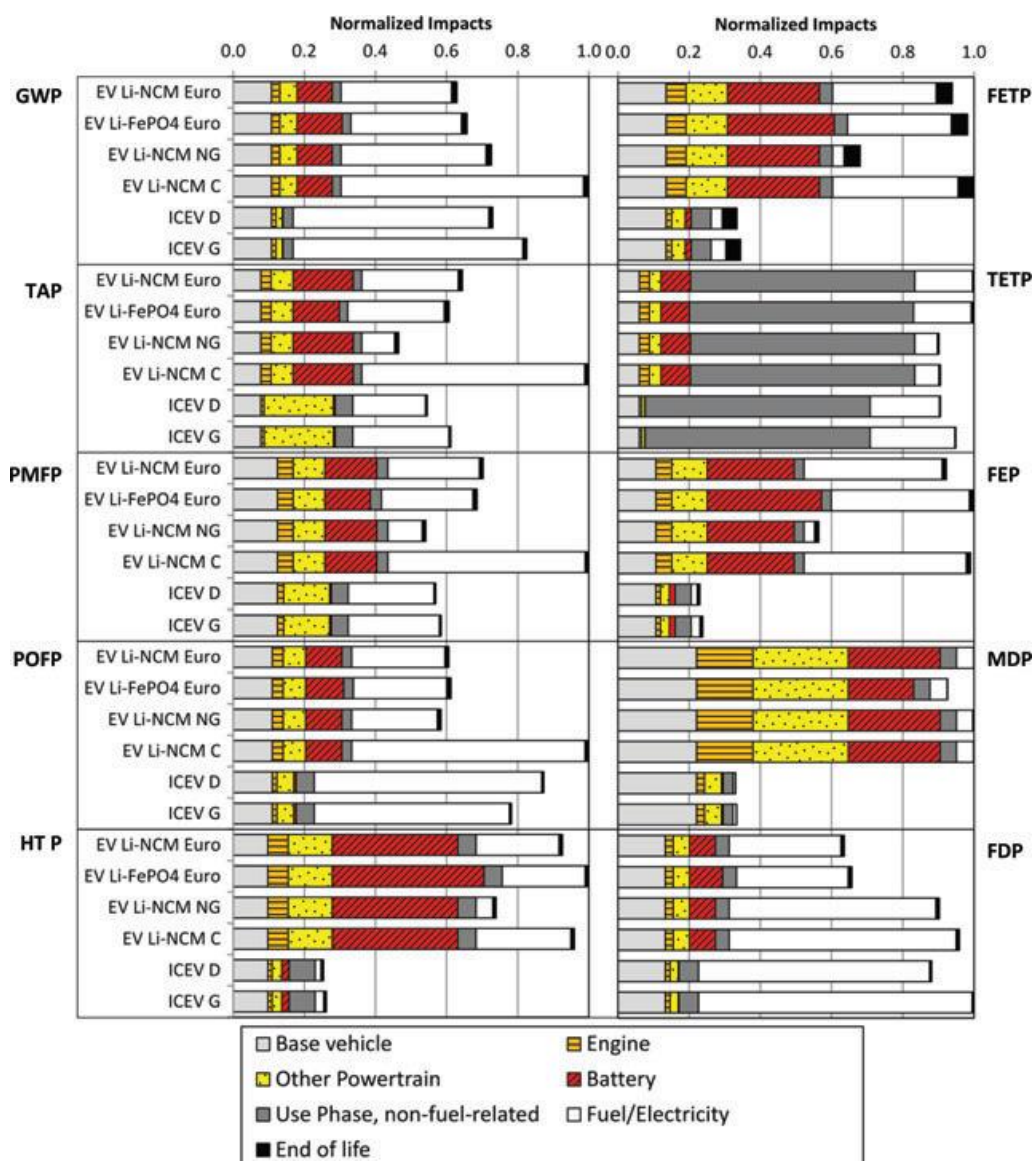
La fase produttiva si rivela la più dannosa per l'ambiente, seguita da quella di utilizzo e dal riciclo/smaltimento.

Aguirre et al (2012) suddividono la fase finale del ciclo di vita dei veicoli elettrici in: smantellamento, rottamazione, selezione dei vari materiali e trasporto alla discarica. Tale processo viene puntualizzato essere sostanzialmente identico per ICEV e EV. Ancora una volta, infatti, a fare la differenza è il trattamento subito dalle batterie. In questo caso viene posta l'attenzione sul fatto che il processo di riciclo delle batterie si dimostra meno conveniente

rispetto all'utilizzo di batterie vergini, in quanto energeticamente più dispendioso e di conseguenza più costoso.

Alla luce di queste considerazioni possiamo affermare che la fase di smaltimento e riciclo dei materiali si rivela piuttosto marginale, in termini di impatto ambientale, rispetto alle altre nei risultati dello studio di LCA, e in particolare possiamo ritenere il riciclo dei materiali ancora non economicamente efficiente.

Figura 8 – Impatto ambientale delle diverse fasi del ciclo di vita.⁷



Fonte: Hawkins et al (2012).

⁷ “Normalized impacts of vehicle production. Results for each impact category have been normalized to the largest total impact. Global warming (GWP), terrestrial acidification (TAP), particulate matter formation (PMFP), photochemical oxidation formation (POFP), human toxicity (HTP), freshwater eco-toxicity (FETP), terrestrial eco-toxicity (TETP), freshwater eutrophication (FEP), mineral resource depletion (MDP), fossil resource depletion (FDP), internal combustion engine vehicle (ICEV), electric vehicle (EV), lithium iron phosphate (LiFePO4), lithium nickel cobalt manganese (LiNCM), coal (C), natural gas (NG), European electricity mix (Euro).” (HAWKINS, T, R., et al, 2012 pag 5).

2.3 Sintesi dei risultati

È opportuno a questo punto sintetizzare i risultati ottenuti nei vari studi citati nelle pagine precedenti.

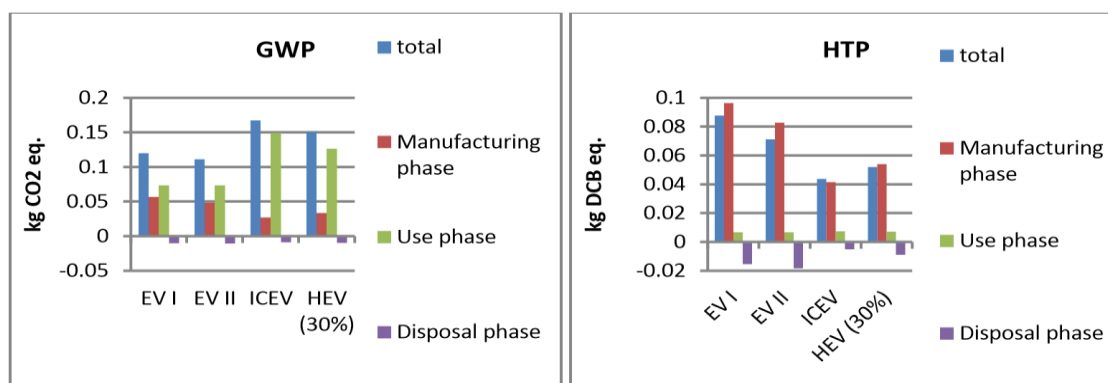
Nella fase produttiva, la produzione dei veicoli elettrici crea maggiori emissioni di CO₂ rispetto ai veicoli “convenzionali” e questo impatta significativamente sul riscaldamento del pianeta. Inoltre, gli EV si dimostrano peggiori per emissioni di sostanze tossiche per l’uomo e per lo sfruttamento delle risorse minerarie. In entrambi i casi la causa è principalmente riconducibile al processo di produzione delle batterie.

Per quanto riguarda altri impatti quali le emissioni di particolato e l’acidificazione terrestre, EV e ICEV non evidenziano significative differenze durante la fase produttiva.

Gli impatti ambientali relativi alla fase di utilizzo si rivelano particolarmente suscettibili ad alcune variabili, quali principalmente: il protocollo seguito dagli analisti per la registrazione delle performance di guida dei veicoli e, soprattutto, il mix energetico utilizzato per ricaricare i veicoli elettrici. Gli EV si dimostrano più efficienti e meno inquinanti quando vengono utilizzati in un contesto urbano, dove le emissioni di CO₂ sono significativamente minori. L’utilizzo di veicoli elettrici permette una riduzione delle emissioni di particolato e una riduzione dello sfruttamento delle risorse fossili. Tuttavia, i vantaggi degli EV durante questa fase, rischiano di essere vanificati dall’utilizzo di mix energetici prodotti dallo sfruttamento di risorse inquinanti, ma questo tema verrà approfondito nel **capitolo 3**.

Per quanto riguarda la fase finale de ciclo di vita dei veicoli, è emerso come essa abbia poco peso nell’impatto ambientale complessivo. Tuttavia, in un futuro, la realizzazione di un processo di riciclo dei materiali più economicamente efficiente, potrebbe rivelarsi utile ai fini della riduzione dello sfruttamento delle risorse minerarie e della creazione di un modello “circolare” di produzione dei veicoli.

Figura 9 – Confronto tra gli impatti prodotti durante le diverse fasi del ciclo di vita.



Fonte: Tagliaferri et al (2016).

Capitolo 3 – Limiti e opportunità dei veicoli elettrici

Alla luce dei dati sin qui esposti, viene naturale porsi un interrogativo: i veicoli elettrici inquinano meno?

Gli studi di LCA presentati nel secondo capitolo ci hanno permesso di indagare l'impatto dei veicoli durante le diverse fasi del ciclo di vita, ma non consentono una risposta univoca.

Nel presente capitolo, per le ragioni esposte nel precedente, concentreremo l'attenzione sulle modalità di produzione dell'energia elettrica e su come esse influiscono sull'impatto ambientale degli EV. Inoltre, dedicheremo un paragrafo ad alcune nuove applicazioni dei veicoli elettrici che possono rivelarsi un punto di partenza verso la creazione di un modello di produzione e gestione dell'energia differente, più pulito ed efficiente.

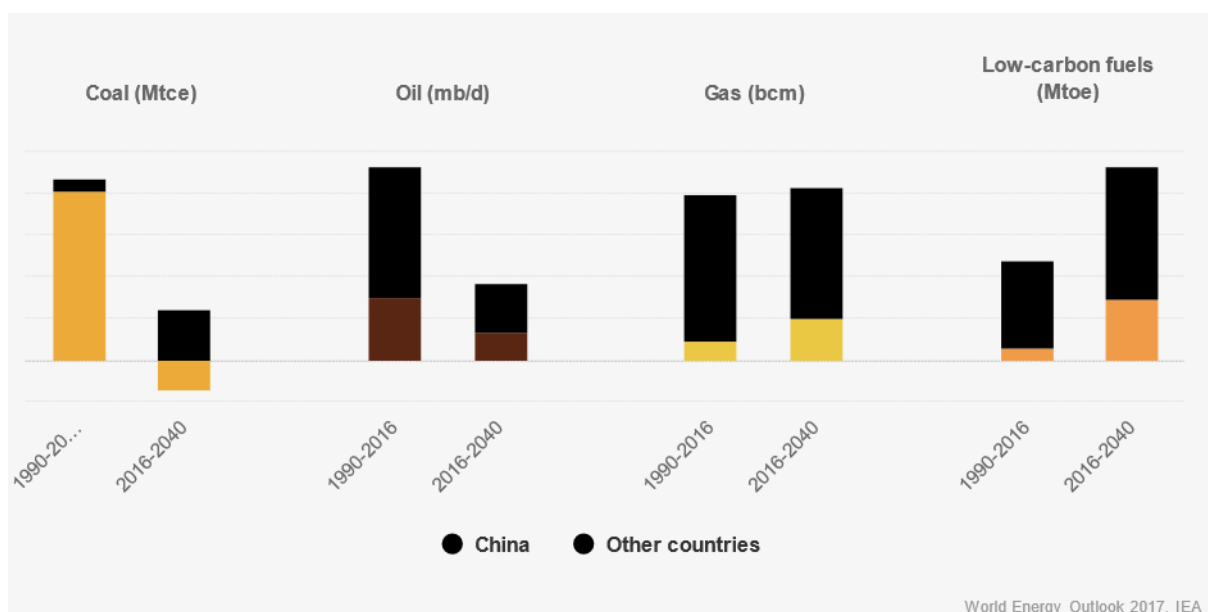
3.1 Lo scenario energetico globale

Le modalità di produzione dell'energia elettrica nel mondo variano da un paese all'altro. Comprendere le modalità di produzione attuali e future è essenziale per poter capire se, e in che misura, i veicoli elettrici abbiano la possibilità di ridurre (ulteriormente) il loro impatto ambientale. Abbiamo visto infatti, come l'utilizzo di mix energetici differenti influisca significativamente sui risultati esposti negli studi LCA.

Per offrire una panoramica sullo scenario energetico globale attuale e alcune previsioni per il prossimo futuro ci affidiamo allo studio svolto da ANON., IEA (2017), del quale abbiamo selezionato e riportato le informazioni che ci sembravano più utili per il nostro scopo. Il primo dato che emerge dallo studio è che il fabbisogno energetico mondiale aumenta di anno in anno meno rapidamente che in passato, ma tenderà ad aumentare del 30% da qui al 2040. L'India contribuisce maggiormente alla crescita della domanda di energia nel mondo, seguita dal sud-est asiatico e dai paesi in via di sviluppo africani e nell'America Latina.

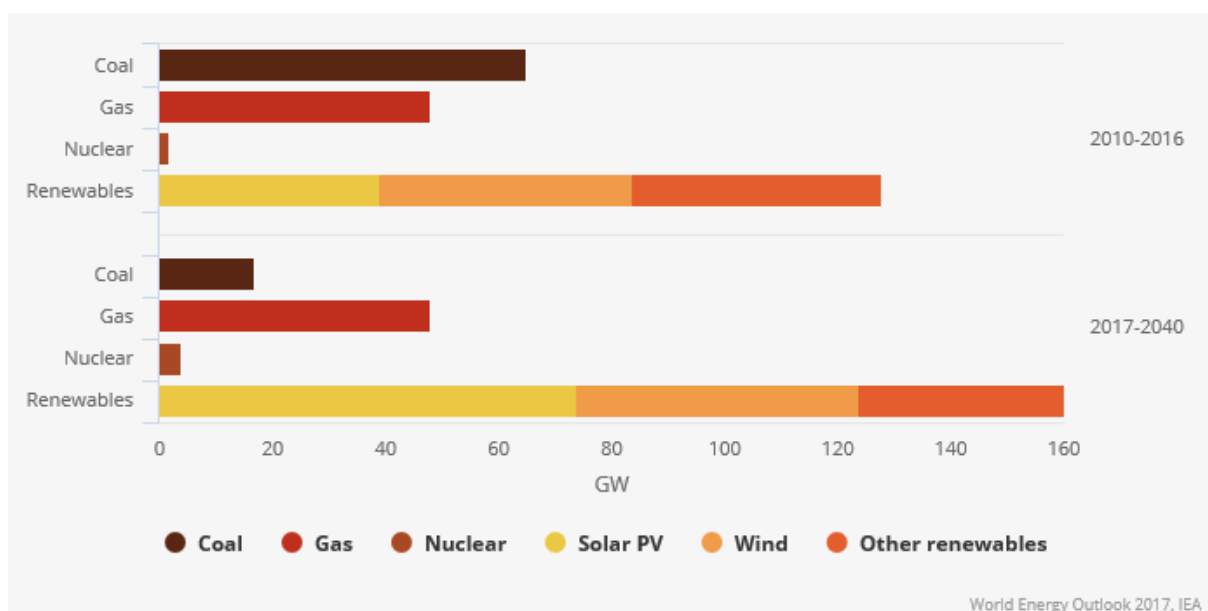
Dalla **Figura 10**, è possibile notare come le fonti attraverso le quali il mondo asseconda il proprio fabbisogno energetico siano destinate a cambiare drasticamente nei prossimi anni. Si passa infatti dal dominio di carbone e petrolio, ad un sensibile incremento di gas naturali e di energie rinnovabili. In una situazione di crescita del fabbisogno energetico questa previsione lascia spazio ad un'ipotesi ottimistica di diminuzione dell'inquinamento. Tuttavia, la porzione di fabbisogno soddisfatta da fonti inquinanti rimarrà significativa.

Figura 10 – Cambiamenti nella domanda di energia primaria per combustibile.



Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

Figura 11 – Cambiamenti globali nell'utilizzo delle fonti energetiche.



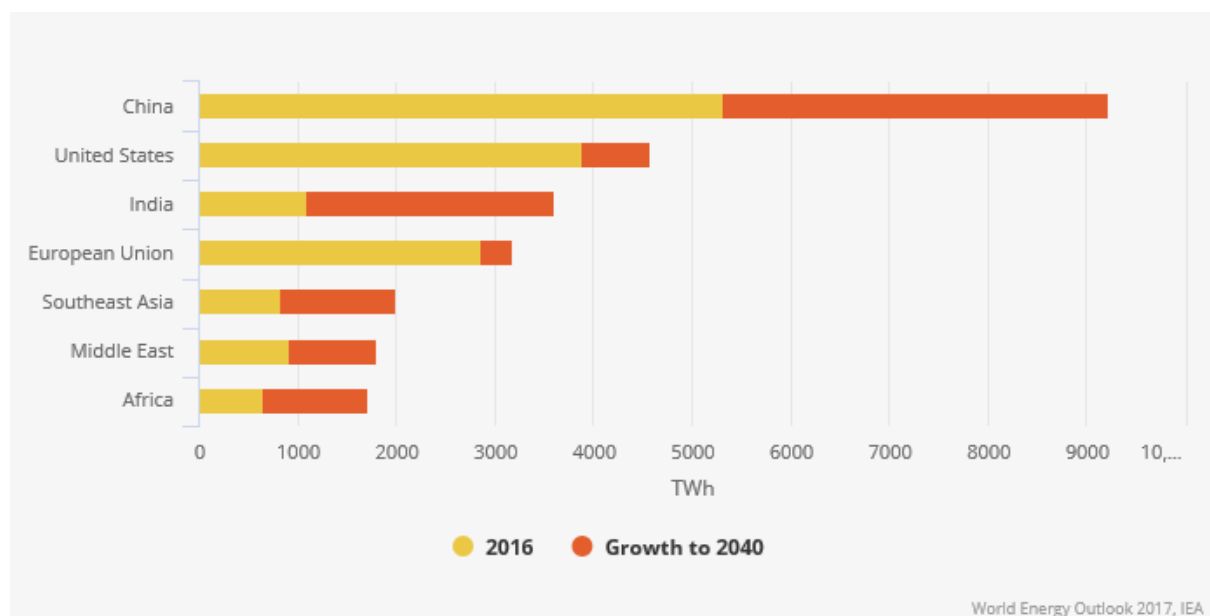
Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

In **Figura 11** è possibile osservare in maniera più approfondita la previsione di un aumento delle energie rinnovabili. Cina e India con la loro intensa distribuzione di pannelli fotovoltaici permetteranno di portare l'energia solare al primo posto delle rinnovabili utilizzate nel 2040.

Nell'Unione Europea invece, l'energia eolica è destinata a diventare già nel 2030 la maggiore fonte.

Nel 2040, inoltre, l'energia elettrica è destinata a diventare la risorsa energetica più utilizzata nel consumo finale di energia. Il grafico in **Figura 12**, permette di osservare la crescita della domanda di energia elettrica in alcune regioni del mondo, evidenziata dalle barre in arancione. Le dimensioni della crescita della domanda di energia elettrica sono paragonabili a quelle della domanda di petrolio degli ultimi venticinque anni, ad evidenziare un trend di progressivo aumento dell'utilizzo di energia elettrica a discapito della fonte fossile. Questo dato è positivo per lo sviluppo del mercato dei veicoli elettrici, tuttavia, implica un impegno da parte di ogni singolo Paese verso lo sviluppo di un modello produttivo dell'energia basato su energie rinnovabili, in quanto solo in questo modo sarebbe possibile rallentare l'aumento dell'inquinamento e rimpiazzare "ecologicamente" i carbon-fossili.

Figura 12 – Domanda di energia elettrica nelle diverse regioni del mondo.

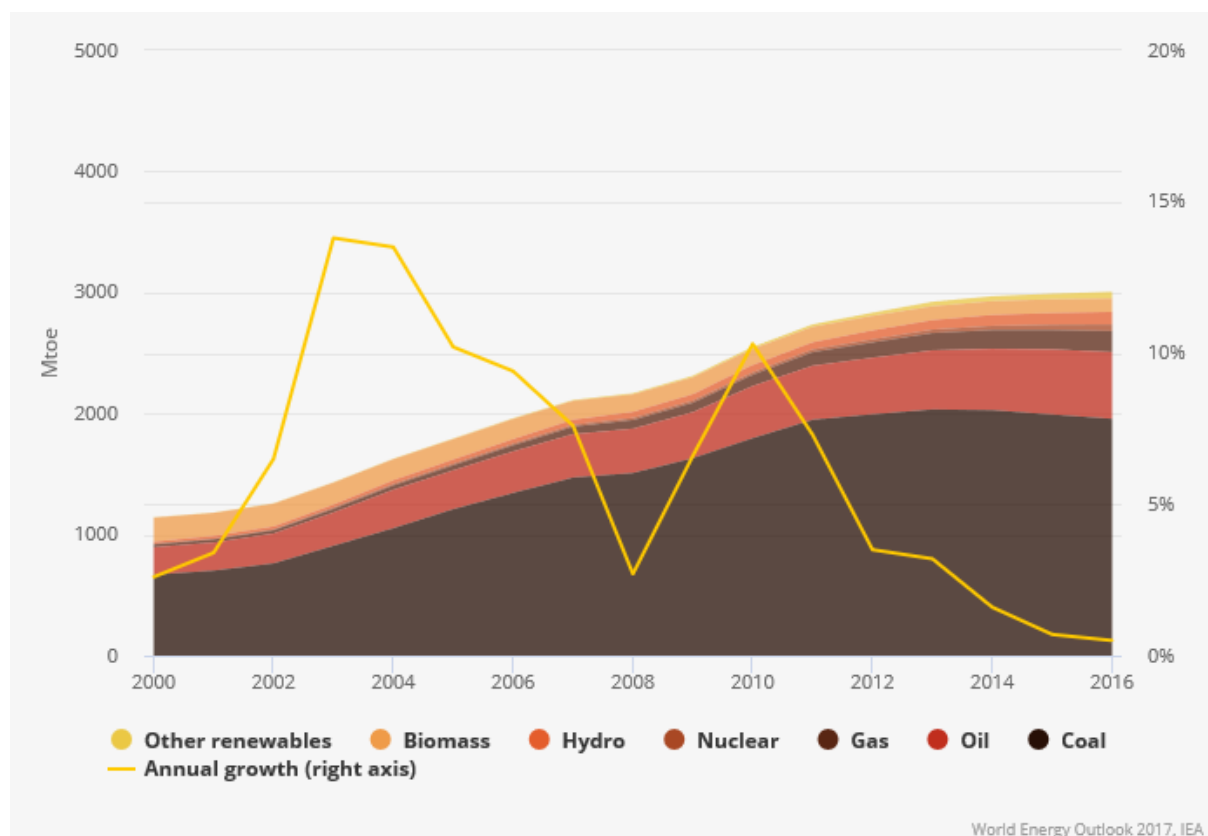


Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

Quello che emerge con insistenza dallo scenario energetico globale è una forte influenza della Cina. In tutti i grafici è possibile infatti osservare come la Cina abbia una posizione di rilievo, ed è per questo che riteniamo interessante capire quali saranno le mosse previste da questa grande Nazione nei prossimi anni, proprio perché le scelte della Cina possono avere forti ripercussioni su quelle degli altri Paesi.

Secondo lo studio ANON., IEA, (2017), la Cina starebbe entrando in una nuova fase di sviluppo, caratterizzata da un orientamento verso l'energia elettrica, i gas naturali e l'utilizzo di energie rinnovabili, per contrastare l'inquinamento e ottenere una maggiore efficienza energetica.

Figura 13 – Andamento della domanda di energia in Cina suddivisa per tipo di combustibile.



Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

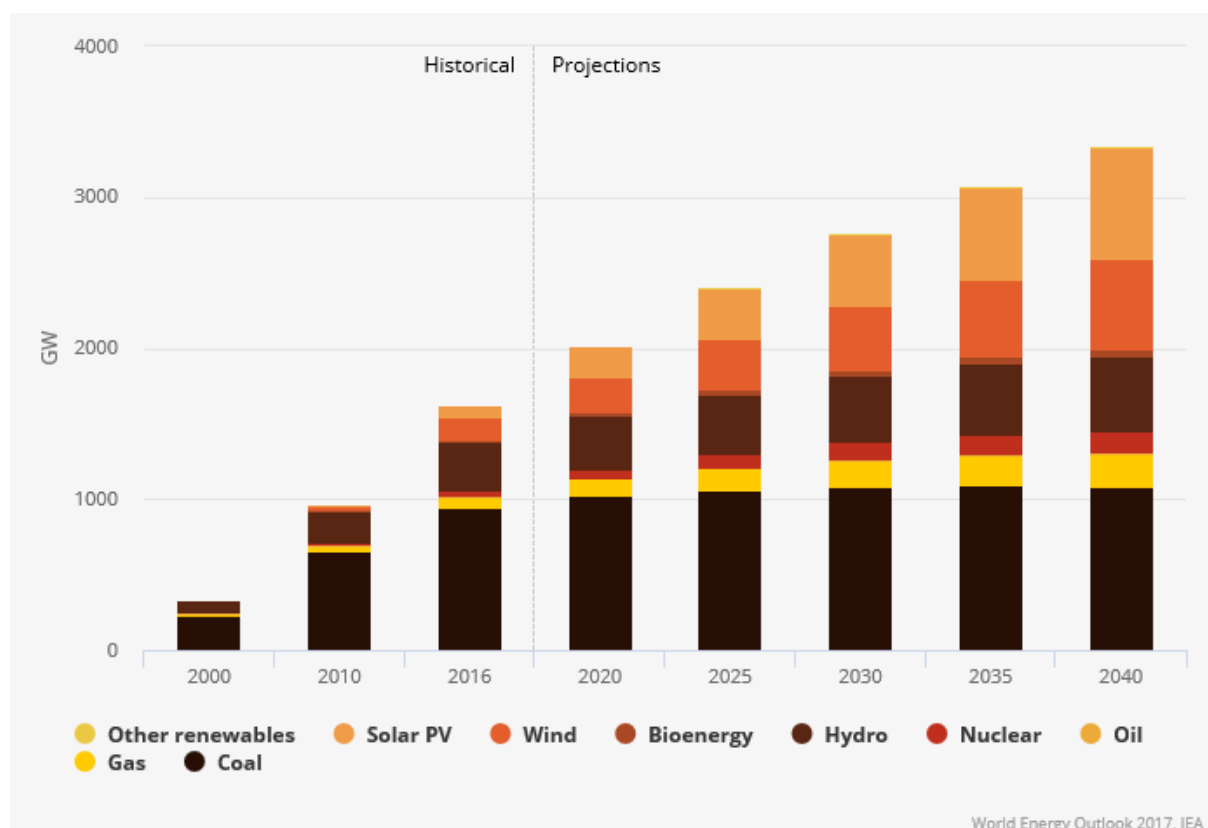
Nelle **Figura 13** è possibile osservare, seguendo l'andamento della linea gialla, che la crescita della domanda di energia ha rallentato da una media dell'8% annua dal 2000 al 2012, a meno del 2% all'anno dal 2012 in poi. Secondo lo studio, inoltre, tale crescita è destinata ad essere dell'1% verso il 2040. Tutto questo a dimostrazione dei notevoli passi in avanti compiuti dalla Cina sul fronte dell'efficienza energetica, tanto è vero che in assenza di questi il consumo finale di energia nel 2040 probabilmente sarebbe del 40% più elevato.

La **Figura 14** contiene una previsione delle prossime mosse della Cina nello scenario energetico. Si nota una netta crescita delle risorse rinnovabili come l'energia eolica, solare e le biomasse. In questo nuovo scenario si stima che 1/3 dei nuovi impianti eolici e fotovoltaici

saranno installati in Cina. Si stima inoltre che la Cina investirà in modo significativo nei veicoli elettrici fino ad avere un veicolo su quattro elettrificato entro il 2040.

L'utilizzo di petrolio è comunque destinato a crescere intorno al 2030 quando la Cina molto probabilmente supererà gli Stati Uniti come maggior consumatore di petrolio.

Figura 14 – Cambiamenti nelle fonti di sostentamento del fabbisogno energetico in Cina.



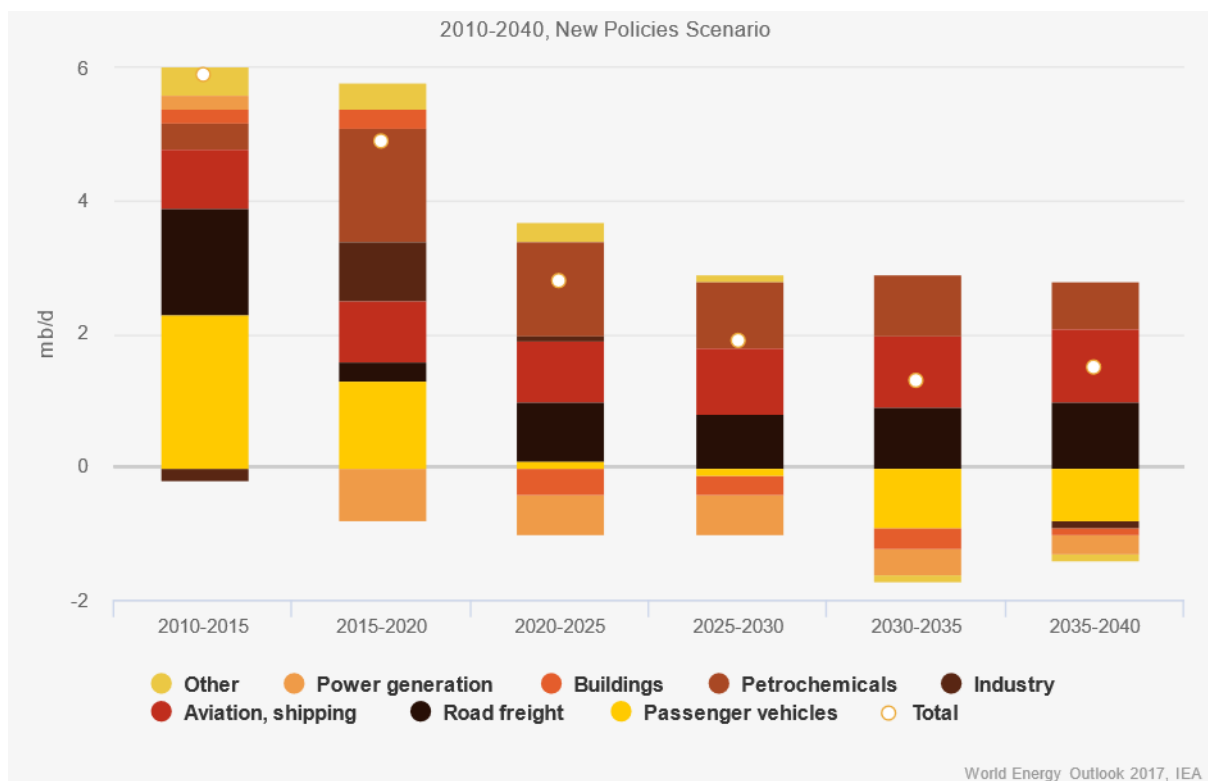
Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

Nonostante i passi in avanti previsti nello sviluppo e utilizzo delle risorse rinnovabili, la domanda di petrolio mondiale è destinata a rimanere elevata fino al 2020. La **Figura 15** evidenzia che l'utilizzo del petrolio come combustibile per i veicoli è destinato a ridursi, grazie ad una maggiore efficienza dei veicoli che trasportano passeggeri e alla previsione di un passaggio a veicoli che utilizzano altri combustibili per il movimento. Nonostante questi miglioramenti la domanda complessiva di petrolio rimane elevata, incalzata principalmente dal settore del petrolchimico, dai trasporti pesanti, dall'aviazione e dalla navigazione.

Per quanto riguarda i gas naturali, le previsioni evidenziano una crescita fino ad arrivare a soddisfare un quarto della domanda globale di energia intorno al 2040, raggiungendo così il secondo posto tra le fonti energetiche utilizzate come combustibile dalla popolazione mondiale, dopo il petrolio. Anche in questo caso le previsioni di crescita sono guidate da Cina, India, ed

altri paesi asiatici. In questi paesi il gas è una fonte che deve essere importata, causando costi di trasporto elevati e una necessaria creazione di infrastrutture che permettano tale trasporto.

Figura 15 – Cambiamenti nella domanda mondiale di petrolio.



Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

L'investimento notevole che tali paesi sono pronti a sostenere, è coerente con i benefici che potranno ricavare dai gas naturali che permettono di generare calore, energia e mobilità producendo minori emissioni di CO₂ e sostanze inquinanti.⁸

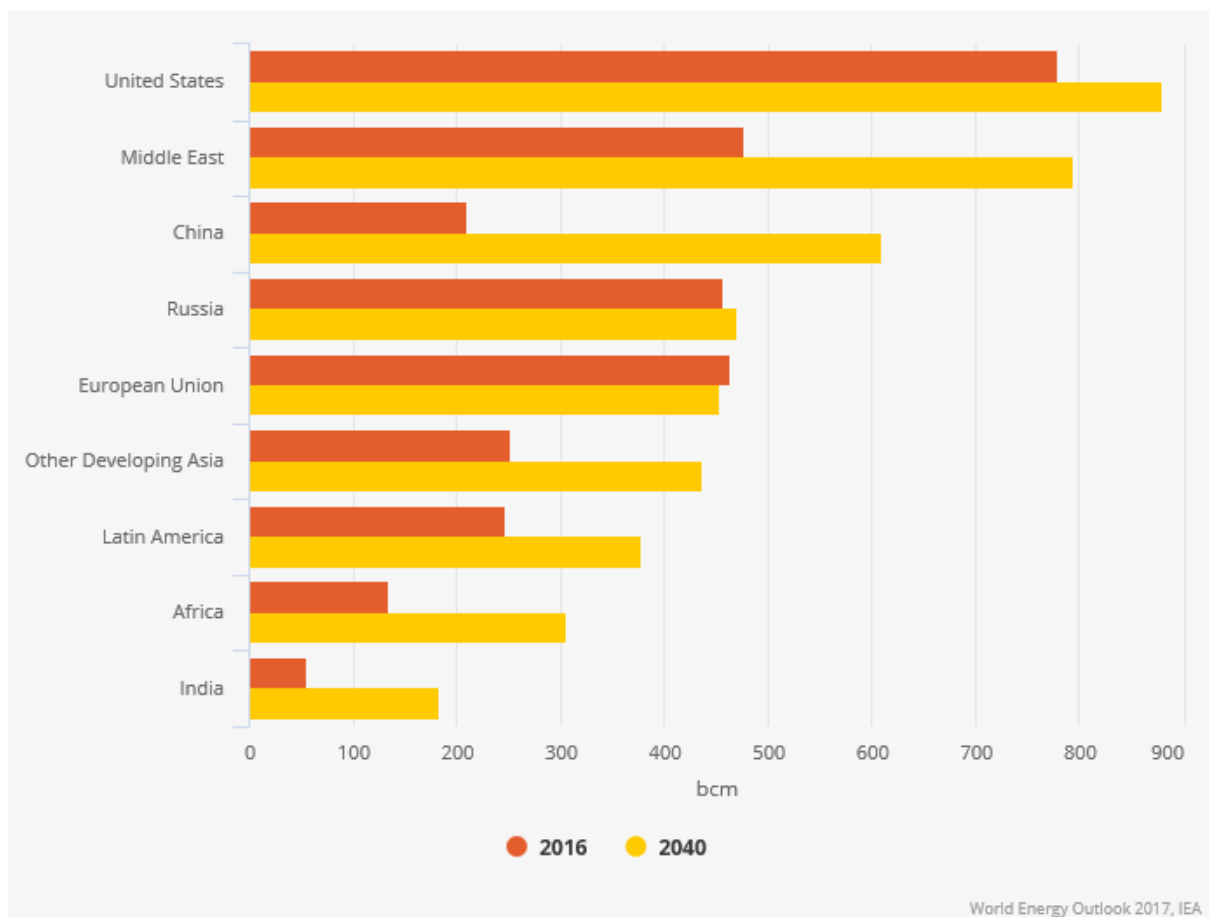
Dopo aver raccolto questa serie di informazioni che ci aiutano a creare una fotografia di quello che è lo scenario energetico globale attuale e le previsioni per i prossimi due decenni, possiamo fare delle considerazioni su come questo sia in stretta relazione con i veicoli elettrici.

Quello che è emerso è che l'energia elettrica viene attualmente prodotta principalmente utilizzando come fonte petrolio e carbone, fonti decisamente impattanti sull'ambiente che causano elevate emissioni di CO₂ e sostanze inquinanti nell'aria. Questo trend è tuttavia destinato a modificarsi nei prossimi anni fino ad arrivare verso il 2040 ad un utilizzo maggiore

⁸ Tra i gas naturali, il metano è stato tuttavia recentemente accusato, di essere altamente impattante sull'ambiente. Cillis (2018) riporta i dati di una ricerca svolta da *Transport & Environment*, seconda la quale le emissioni dei veicoli a metano provocherebbero lo stesso inquinamento atmosferico generato dai veicoli a benzina, e peggiore addirittura di quello generato dai veicoli a diesel di ultima generazione.

di energie rinnovabili e gas naturali. Questo orientamento verso energie più “pulite” è spinto dai paesi in via di sviluppo tra i quali spicca in modo significativo il ruolo della Cina che si conferma, secondo queste previsioni, un paese molto innovativo, probabilmente spinto dal forte tasso d’inquinamento che tormenta da anni le proprie metropoli. Detto questo ora è necessario approfondire come queste previsioni entrano in gioco nel futuro dei veicoli elettrici e come l’utilizzo di mix energetici diversi possa influenzare in modo significativo l’efficienza in termini “ecologici” degli stessi.

Figura 16 – Domanda di gas naturali in alcune regioni del mondo.



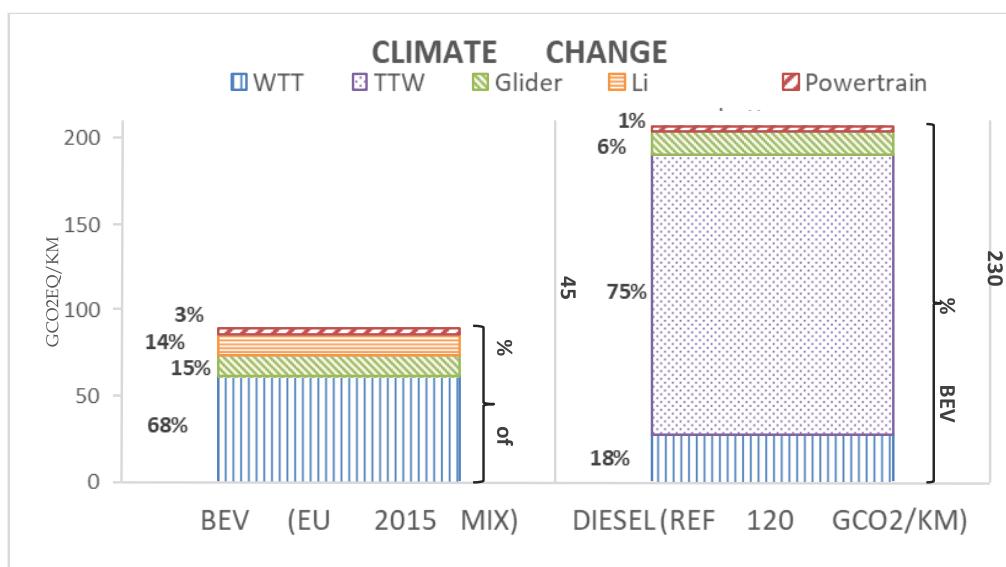
Fonte: ANON., International Energy Agency (2017).

3.2 La relazione tra fonti energetiche e il LCA dei veicoli elettrici

Secondo lo studio di Messagie (2014), circa il 70% dell'impatto ambientale di un EV deriva dalla produzione dell'elettricità, il rimanente 30% dalla produzione delle batterie e dei componenti del veicolo.

L'impatto della produzione delle batterie potrebbe essere ridotto utilizzando energie rinnovabili per rifornire l'energia elettrica necessaria al processo produttivo. Questo ridurrebbe del 65% l'impatto ambientale. Anche il riciclo delle batterie ridurrebbe l'impatto, in quanto ridurrebbe l'utilizzo delle materie prime necessarie per la produzione di batterie vergini. Il processo di estrazione legato ai materiali necessari per la creazione di batterie, infatti, è particolarmente inquinante e dispendioso di energia. Utilizzando un processo di riciclo dei materiali affiancato all'uso di energie rinnovabili durante la produzione porta a una riduzione del 35% dell'impatto originario.

Figura 17 – Confronto tra impatti climalteranti di ICEV e BEV suddivisi pe fasi.

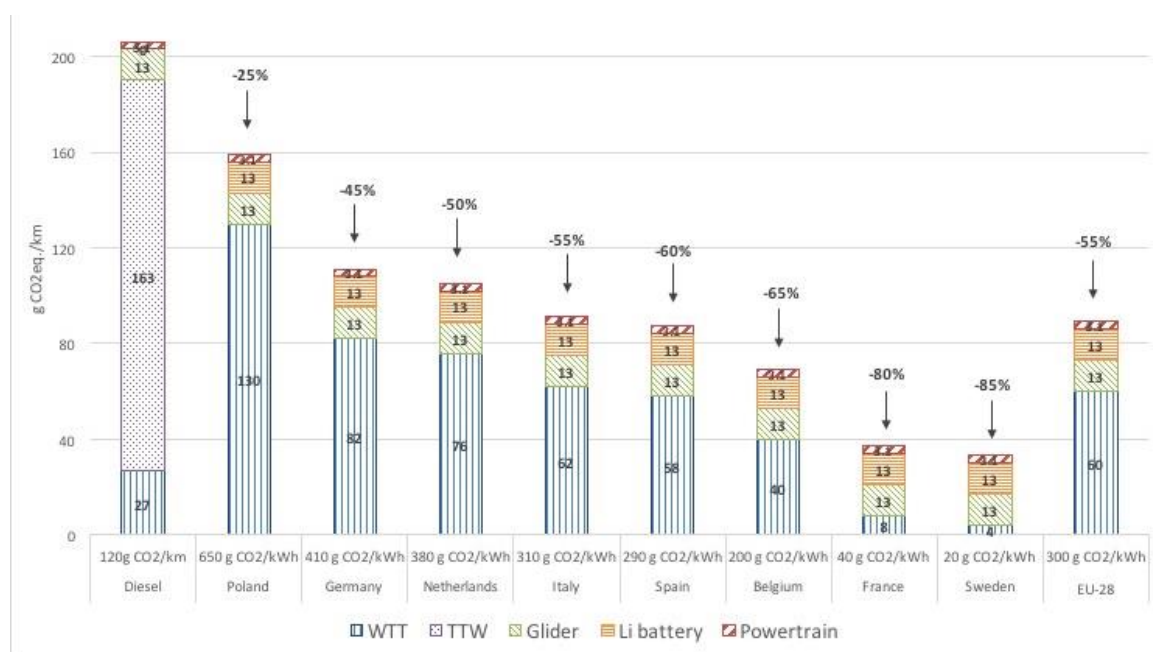


Fonte: Messagie (2014).

L'energia impiegata dai veicoli elettrici può derivare da diverse fonti energetiche. L'utilizzo di petrolio e carbone piuttosto che l'uso di energie rinnovabili ha grosse ripercussioni sull'impatto ambientale di questi veicoli. Ridurre l'utilizzo di combustibili fossili può ridurre sensibilmente le emissioni "indirette" degli EV, rendendoli migliori dei rispettivi ICEV. Effettuando un'analisi dello scenario energetico relativo ai Paesi Europei emerge che Svezia e Francia hanno un mix energetico che utilizza poco i carbon-fossili, grazie all'utilizzo di energie

rinnovabili (Svezia) e al nucleare (Francia). Il Belgio e la Spagna hanno un mix energetico caratterizzato da un utilizzo di carbon-fossili che produce 200-290 gCO₂/kWh, mentre la Germania ne produce 410 gCO₂/kWh. La Polonia a causa dell'utilizzo di impianti che producono energia elettrica tramite carbone, ha il tasso di emissione di gas serra più elevato al livello europeo, ossia di 650 gCO₂/kWh. Mediamente, nell' UE-28, le emissioni di CO₂ sono a 300 gCO₂/kWh ma sembrano destinate a diminuire fino a 80 gCO₂/kWh nel 2050.

Figura 18 – Influenza dei diversi mix energetici sull'impatto ambientale dei veicoli elettrici.⁹

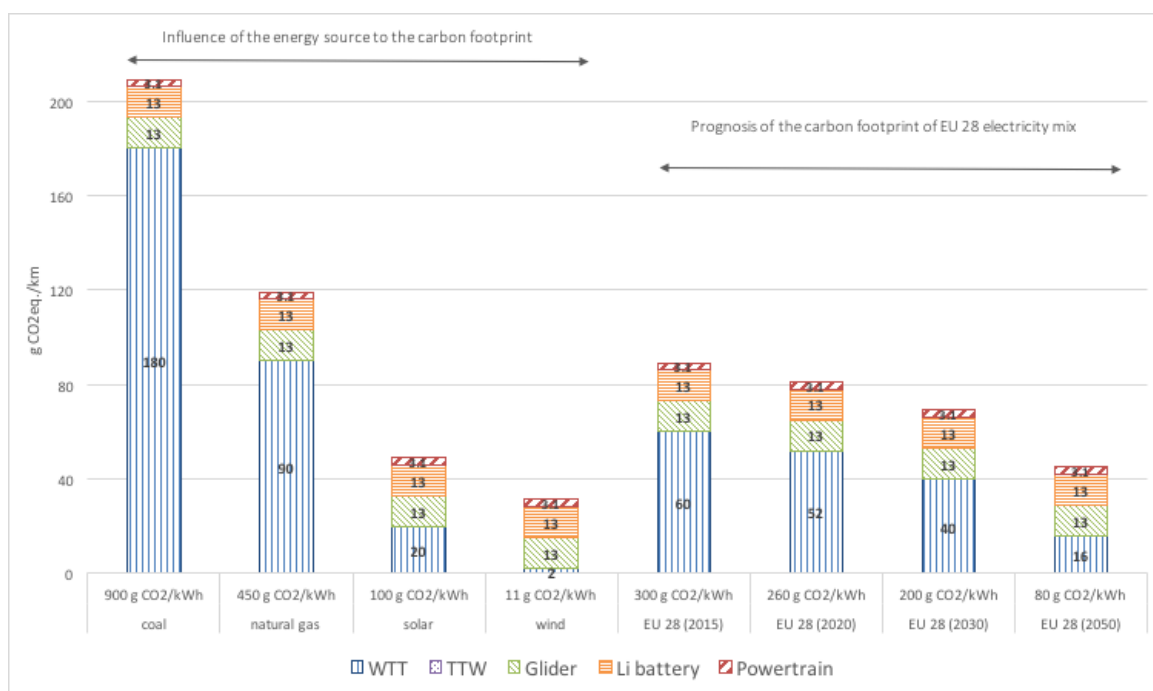


Fonte: Messagie (2014).

La **Figura 18** evidenzia come cambiano le emissioni per un veicolo elettrico a seconda dei mix energetici utilizzati per ricaricarlo. Dal grafico è evidente quanto sia impattante l'utilizzo di combustibili fossili nella produzione di energia anche per un veicolo elettrico. Utilizzando il mix energetico della Svezia, che risulta essere quello migliore a livello europeo, i benefici dell'utilizzo di un EV sono molto significativi per quanto riguarda le emissioni di gas serra, infatti, tali emissioni sono minori dell'85%.

⁹ "European Commission. EU Reference Scenario 2016 Energy, Transport And GHG Emissions Trends To 2050. DOI: 10.2833/001137. 2016" (Messagie, M., 2014 pag 9).

Figura 19 – Cambiamenti nelle emissioni di CO₂ in base all'utilizzo di fonti energetiche diverse.⁹



Fonte: Messagie (2014).

Nella **Figura 19** è possibile osservare le differenze dell'utilizzo di diverse fonti energetiche, per la produzione di energia elettrica, nelle emissioni di CO₂ di un veicolo elettrico. Utilizzare il carbone come fonte di produzione dell'energia elettrica è estremamente negativo: infatti, mettendo a confronto **Figura 18** e **19**, si nota come la quantità di CO₂ prodotta da ICEV e quella prodotta da un BEV, che utilizza energia derivata dal carbone, sia pressoché simile (prima barra di entrambi i grafici).

La **Figura 19** riporta anche le implicazioni di un utilizzo di energia europea dal 2015 al 2050 per un BEV. Oltre a riscontrare una previsione positiva di miglioramento, emerge anche che utilizzare un BEV in Europa ha un impatto minore rispetto ad utilizzare un ICEV, ma questo non è così scontato a livello mondiale: vi sono infatti paesi dove la produzione di energia elettrica deriva quasi esclusivamente da carbone o petrolio e in questi casi un BEV potrebbe essere più impattante di un ICEV.

Le previsioni per i prossimi anni hanno evidenziato un maggiore investimento nelle energie rinnovabili. Questo renderebbe l'alternativa elettrica più efficiente rispetto ai veicoli tradizionali e permetterebbe di ridurre ulteriormente l'impatto ambientale. Tuttavia, le modalità con cui viene prodotta l'energia elettrica in alcuni paesi del mondo limitano significativamente i benefici che i veicoli elettrici potrebbero portare sulla riduzione dell'inquinamento globale.

3.3 Le applicazioni alternative dei veicoli elettrici

Per concludere il nostro studio sui veicoli elettrici, analizzeremo brevemente alcune nuove opportunità tecnologiche che tali veicoli possono offrire, supportati dalle informazioni fornite da ANON., (2018).

Il tutto nasce essenzialmente da una riflessione sull'essenza primaria del veicolo elettrico, ossia, “una grande batteria su quattro ruote.” Generalmente un veicolo elettrico, durante una giornata tipo, trascorre infatti una parte delle ore in movimento, ma per la maggior parte del tempo è fermo in un parcheggio e probabilmente collegato alla rete elettrica in modalità di ricarica. Esso può essere quindi considerato un accumulatore di energia elettrica e tale aspetto potrebbe essere sfruttato per lo sviluppo di due soluzioni denominate rispettivamente: *Vehicle to Grid* (V2G) e *Vehicle to Home* (V2H). Va precisato che lo sviluppo di queste due soluzioni presuppone l'utilizzo di una presa che permetta un flusso di energia elettrica bidirezionale, ossia, che la corrente possa passare dalla rete elettrica al veicolo e viceversa.

Il V2G è un sistema “intelligente” (smart) che permette di gestire la direzione del flusso di energia elettrica, in funzione delle esigenze di aumento o riduzione di potenza complessiva della rete elettrica. In questo caso il veicolo elettrico collegato alla rete alternerà momenti di carica a momenti in cui restituirà l'energia accumulata alla rete elettrica, il tutto a beneficio della rete stessa. Questo processo permette la stabilizzazione dei flussi di potenza della rete elettrica, gestendone picchi e cali di tensione.

Il V2H utilizza la stessa tecnologia, ma in questo caso ha come obiettivo la gestione intelligente dell'energia elettrica in ambiente domestico, sfruttando il veicolo elettrico come accumulatore di energia per massimizzare il risparmio in bolletta del consumatore finale.

Le due soluzioni vengono generalmente indicate come: *Vehicle to X* (V2X).

La tecnologia che sta alla base di questi progetti è stata sviluppata in Giappone tra il 2009 e il 2012. Nel 2015 è stata portata e diffusa in Europa dalla partnership ENEL-NISSAN con le prime applicazioni in Danimarca e successivamente nel Regno Unito, nel 2016.

Le prime infrastrutture di ricarica V2G sono arrivate anche in Italia e sono situate a Genova presso la sede dell'IIT, grazie ad un progetto pilota di car sharing aziendale nato dalla collaborazione di ENEL, NISSAN e IIT. Tuttavia, le colonnine al momento funzionano solamente in modo unidirezionale, non sfruttando appieno le possibilità di questa tecnologia, a causa della mancanza di una regolamentazione in materia.

La tecnologia V2H si rivela particolarmente interessante per i possessori di un impianto fotovoltaico domestico. I pannelli fotovoltaici, infatti, durante le ore centrali della giornata,

producono una grande quantità di energia elettrica, mentre per il resto della giornata la produzione è scarsa o inesistente.

Il problema principale è che ai momenti di massima produzione di energia generalmente corrisponde un basso utilizzo domestico. Ecco che in questo contesto si rivela utile la presenza di un accumulatore all'interno dell'ambiente domestico, che permetta di accumulare l'energia prodotta dal sole nelle ore in cui la radiazione solare è più intensa, e riutilizzarla nel corso della giornata.

Un accumulatore di energia si dimostra generalmente per l'utente un investimento impegnativo a motivo del costo degli accumulatori che resta molto elevato. Tuttavia, un utente che decida di acquistare un veicolo elettrico, con la possibilità di utilizzare la tecnologia V2H, si ritrova senza ulteriori spese a beneficiare di un veicolo e di un accumulatore allo stesso tempo. In questo caso non solo si avrà un beneficio in termini economici, ma vi è anche la possibilità di sfruttare al meglio la produzione tramite energie rinnovabili, realizzando un sistema di utilizzo dell'energia quasi interamente “green”.

I benefici del V2H non sono riservati solo agli utenti dotati di impianti fotovoltaici. Esso infatti permette una migliore gestione dell'energia domestica. In questo caso il veicolo elettrico verrà ricaricato durante la notte e le prime ore della mattina, sfruttando le fasce orarie di utilizzo della corrente più economiche. Durante il trasporto delle persone il veicolo consumerà una parte dell'energia immagazzinata al suo interno, mentre ciò che resta verrà restituita alla rete domestica in modo da sfruttarla durante le fasce orarie in cui la corrente avrebbe un costo maggiore. In questo caso la tecnologia permette un risparmio in bolletta particolarmente interessante. (ANON., 2018).

La tecnologia V2G è alla base dello sviluppo di un nuovo modello di business: la *Platform revolution*, di cui ENEL è parte. In questo progetto, ENEL si propone come “energy manager”, aggregando veicoli che non possiede e dando ai loro proprietari la possibilità di vendere servizi sul mercato dell'energia. In questo caso il cliente finale non è più considerato come mero consumatore di energia elettrica, ma diventa un cliente attivo in grado di fornire lui stesso energia alla rete elettrica quando questa lo necessita.

Il veicolo elettrico finisce così per diventare un bene a servizio della comunità, permettendo la creazione di una rete elettrica bilanciata, e a sua volta permettendo un ritorno di benefici al proprietario stesso.

Come accennato in precedenza, le regolamentazioni che permettono l'utilizzo di queste tecnologie sono ancora in fase di evoluzione, si tratta tuttavia di un progetto particolarmente interessante, a parere di chi scrive, che potrebbe in un futuro prossimo procurare notevoli benefici. (ANON., ENEL, 2017).

Considerazioni finali

Alla luce dei risultati emersi dalla nostra ricerca è necessario cercare di raggruppare e sintetizzare le informazioni raccolte per elaborare un'analisi conclusiva che riassume e dia un senso critico al tutto.

I veicoli elettrici rappresentano una tecnologia ancora in fase di sviluppo dai contorni non ancora definiti. Le varie tipologie presenti nel mercato sono la rappresentazione di un processo innovativo che deve ancora giungere alla standardizzazione di una tecnologia che incarni al meglio obiettivi ambientali e di efficienza.

I fattori critici di successo sui quali le case automobilistiche dovranno concentrarsi per rendere tali veicoli elettrici più competitivi sono: il miglioramento dell'autonomia in termini di chilometri percorsi con una ricarica, la creazione di metodi di ricarica più rapidi ed efficienti, e un'adeguata distribuzione territoriale dei punti di rifornimento.

Per quanto riguarda l'inquinamento ambientale, i veicoli elettrici sono certamente una risorsa che potrebbe procurare notevoli benefici sul fronte della riduzione delle emissioni che oggi giorno danneggiano seriamente la salute dell'uomo e dell'ecosistema. Tuttavia, le soluzioni in questo caso si dimostrano più complesse da realizzare.

Gli studi presi in considerazione in questo elaborato evidenziano come per molti aspetti i veicoli elettrici siano migliori delle alternative a benzina e diesel, mentre per altri siano ancora insoddisfacenti se non, addirittura, negativi.

Ciò che emerge principalmente è che per creare un veicolo che abbia un “modesto” impatto sull'ambiente non basta utilizzare l'elettricità per farlo muovere! I veicoli elettrici si dimostrano certamente molto efficienti in un contesto urbano, riducendo ampiamente le emissioni inquinanti. Tuttavia, senza l'adozione di misure aggiuntive, vi è il rischio di spostare le emissioni dai centri abitati alle centrali elettriche, limitandosi ad una soluzione dei problemi locali e non di quelli globali.

Il passaggio dai veicoli a combustione ai veicoli elettrici rischia di essere dannoso per l'ambiente se non viene sostenuto da un cambiamento nel modello di produzione dell'energia. Infatti, un aumento nella diffusione dei veicoli elettrici rischia di produrre, a sua volta, un aumento del fabbisogno energetico globale, che verrebbe soddisfatto continuando a danneggiare l'ambiente, utilizzando energia elettrica prodotta da fonti nocive.

Come evidenziato nel **capitolo 3**, gran parte dell'energia elettrica prodotta nel mondo è ancora oggi ottenuta da combustibili fossili, ad alto impatto ambientale. Solamente in alcune regioni del mondo che utilizzano in maniera più intensiva le energie rinnovabili, quali solare, eolico e

biomasse, lo sviluppo della mobilità elettrica sarebbe efficace e potrebbe portare a grandi benefici.

Il ruolo della Cina emerge più volte nel corso dell'elaborato. Negli ultimi anni le grandi metropoli del colosso asiatico sono state più volte messe in difficoltà dall'inquinamento atmosferico. Per contrastare questa situazione abbiamo potuto osservare nel **capitolo 1** come la Cina stia investendo molto nello sviluppo del mercato dei veicoli elettrici.

Lo sviluppo di tale mercato è guidato anche dal mercato delle batterie, che negli ultimi anni si è sviluppato molto velocemente, grazie all'innovazione continua di batterie sempre più in grado di autonomie elevate, e questo, ha dato un ulteriore impulso alla produzione di vetture elettriche. Inoltre, il governo cinese sta incentivando in modo significativo lo sviluppo delle risorse rinnovabili e questo rende il cammino verso il passaggio ai veicoli elettrici ancora più efficace. Un Paese così importante nel panorama internazionale, orientato verso un sistema di produzione dell'energia e di trasporti più pulito può essere un trascinatore per altri Paesi ancora lontani da questi obiettivi e un trampolino di lancio per una tecnologia come quella dei veicoli elettrici, con tanto potenziale da esprimere e grandi obiettivi da raggiungere.

Lo sviluppo delle tecnologie V2X, inoltre, favorisce nuove opportunità per il veicolo elettrico e ulteriori applicazioni per il futuro. Esse sono alla base di un nuovo modello di business dell'energia che permetterà una vera e propria rivoluzione della figura del consumatore, da cliente passivo e mero utilizzatore di energia, a cliente attivo e venditore di servizi sul mercato dell'energia. Inoltre, lo sviluppo specifico della tecnologia V2H permette un migliore sfruttamento degli impianti fotovoltaici e un'efficiente gestione della rete elettrica domestica, permettendo risparmi e un sistema di produzione dell'energia quasi interamente ecologico.

Le nuove tecnologie pongono le basi per un cambiamento radicale nelle modalità di produzione e gestione dell'energia, favorendo lo sviluppo e un miglior sfruttamento delle risorse rinnovabili, grazie alla possibilità di accumulare l'energia nei momenti di massima produzione e ridistribuirla in quelli di minima, permettendo una stabilizzazione della rete e una minore dispersione e spreco di energia elettrica.

Attualmente non siamo ancora in grado di rendere i veicoli elettrici una valida alternativa ai veicoli tradizionali che rispetti il trade-off tra efficienza e ecosostenibilità, ma un cambiamento nelle modalità di produzione dell'energia e le nuove opportunità offerte dalla scienza potranno, riteniamo, favorire nel futuro il passaggio alla mobilità elettrica. Non rimane quindi che attendere i prossimi sviluppi.

Riferimenti bibliografici

ANON., Auto elettrica [online]. Orizzontenergia.

Disponibile su http://orizzontenergia.it/testi.php?id_testi=159. [Accesso 20/05/2018].

ANON., Tutto ciò che volevate sapere sui veicoli elettrici 2° edizione [online]. ARVAL BNP PARIBAS GROUP just drive. Disponibile su

https://www.arval.it/cvo/sites/itcvo/files/media/pdf/libri/tutto_cio_che_volevate_sapere_sui_veicoli_elettrici.pdf. [Accesso 15/05/2018].

ANON., 2011. Life Cycle Assessment, che cos'è? [online]. Lifegate 23 maggio 2011.

Disponibile su https://www.lifegate.it/persone/news/lca_life_cycle_assessment.

[Accesso 16/05/2018].

ANON., 2017. V2G, l'auto del futuro è una batteria [online]. ENEL 5 maggio 2017.

Disponibile su <https://corporate.enel.it/it/storie/a/2017/05/v2g-l-auto-del-futuro-una-batteria>.

[Accesso 09/10/2018].

ANON., 2017. World Energy Outlook 2017 [online]. International Energy Agency 14 novembre 2017. Disponibile su <https://www.iea.org/weo2017/>. [Accesso 20/09/2018].

ANON., 2018. Le rinnovabili [online]. DOSSIERSE febbraio 2018.

Disponibile su <https://www.dossierse.it/archivio/02-vehicle-to-grid/dossier>.

[Accesso 09/10/2018]

AGUIRRE, K., et al, 2012. Lifecycle Analysis Comparison of a Battery Electric Vehicle and a Conventional Gasoline Vehicle [online]. Advisor: Dr. Deepak Rajagopal. Client: California Air Resources Board. Giugno 2012.

Disponibile su <https://www.ioes.ucla.edu/wp-content/uploads/ev-vs-gasoline-cars-practicum-final-report.pdf>. [Accesso 16/08/2018].

CILLIS, L., 2018. Gas auto sotto accusa: inquina come benzina e diesel [online]. La Repubblica 24 ottobre 2018. Disponibile su https://www.repubblica.it/economia/2018/10/24/news/gas_auto_sotto_accusa_inquina_come_benzina_e_diesel-209823257/?refresh_ce. [Accesso 31/10/2018].

DANIELIS, R., 2017. Le emissioni di CO2 delle auto elettriche e delle auto con motore a combustione interna. Un confronto per l'Italia tramite l'analisi del ciclo di vita [online]. Working papers SIET-ISSN 1973-3208. Disponibile su <http://www.sietitalia.org/wpsiet/Danielis%20-%20WPSIET%202017.pdf>. [Accesso 28/04/2018].

FLORIAN, K., 2013. How electric car manufacturing transforms automotive supply chains [online]. Conference paper: EUROMA gennaio 2013. Disponibile su https://www.researchgate.net/publication/273131420_How_electric_car_manufacturing_transforms_automotive_supply_chains. [Accesso 27/04/2018].

GRILLI, M., 2016. L'incredibile storia dell'auto elettrica dalle origini a oggi [online]. Tuttogreen guida pratica alla green economy 21 novembre 2016. Disponibile su <https://www.tuttogreen.it/storia-dellauto-elettrica/>. [Accesso 8/05/2018].

HAWKINS, T, R., et al, 2012. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles[online]. Journal of Industrial Ecology by Yale University 4 ottobre 2012. Disponibile su <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>. [Accesso 24/04/2018].

MACI, L., 2018. Auto elettrica, tutto quello che c'è da sapere su tempi e costi di ricarica[online]. Economyup 15 gennaio 2018. Disponibile su <https://www.economyup.it/automotive/auto-elettrica-tutto-quello-che-ce-da-sapere-su-tempi-e-costi-di-ricarica/>. [Accesso 14/05/2018].

MESSAGIE, M., 2014. Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles. [online]. Transport & Environment. Vrije Universiteit Brussel, research group MOBI.

Disponibile su

<https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/TE%20-%20draft%20report%20v04.pdf>. [Accesso 14/08/2018].

MORONI, L., 2017. Il mercato dell'auto elettrica cresce ovunque nel mondo [online]. Green Start mobilità sostenibile 26 novembre 2017. Disponibile su <http://www.greenstart.it/mercato-auto-elettrica-cresce-ovunque-mondo-numeri-12623>. [Accesso 5/05/2018].

MORONI, L., 2018. Continua la crescita delle auto elettriche nel mondo nei primi tre mesi del 2018 [online]. Green Start mobilità sostenibile 15 maggio 2018.

Disponibile su <http://www.greenstart.it/continua-la-crescita-delle-auto-elettriche-nel-mondo-13695>. [Accesso 20/05/2018].

PATTI, F., 2017. Con l'auto elettrica la Cina conquisterà l'Europa. [online]. LINKIESTA 11 luglio 2017. Disponibile su <https://www.linkiesta.it/article/2017/07/11/con-lauto-elettrica-la-cina-conquistera-leuropa/34885/>. [Accesso 28/05/2018].

RIBOLI, G, SALA, F., 2010. Studio di un veicolo ibrido serie con configurazione innovativa [online]. Tesi di Laurea, Politecnico di Milano, Facoltà di Ingegneria Industriale, Corso di Laurea in Ingegneria Industriale.

Disponibile su

https://www.politesi.polimi.it/bitstream/10589/430/1/2010_05_Sala_Riboli.pdf. [Accesso 28/05/2018].

TAGLIAFERRI, C et al, 2016. Life cycle assessment of future electric and hybrid vehicles: a cradle-to-grave systems engineering approach [online]. UCL Discovery. Disponibile su:

<http://discovery.ucl.ac.uk/1503806/1/Tagliaferri%20Life%20cycle%20assessment%20of%20future%20electric%20and%20hybrid%20vehicles.pdf>. [Accesso 7/10/2018].

TEGAZZINI, M., 2017. Auto elettriche e ibride: sicurezza elettrica nelle manutenzioni[online].
Tesi di Laurea Triennale, Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Tecnica e Gestione
dei Sistemi Industriali, Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica e Meccatronica.

Disponibile su

http://tesi.cab.unipd.it/56390/1/UNIVERSITA_DEGLI_STUDI_DI_PADOVA_tesi.pdf.

[Accesso 18/05/2018].¹⁰

¹⁰ 12536 parole.